T U
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

D I S S E R T A T I O N

ENTWICKLUNG EINES BEWERTUNGSHINTERGRUNDES FÜR DAS GRIFFIGKEITSMESSSYSTEM GRIPTESTER IN ÖSTERREICH

Vergleichsuntersuchungen GripTester – RoadSTAR

ausgeführt zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der technischen Wissenschaften

unter Leitung von

o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Dr.h.c. Johann Litzka

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Dipl.-Ing. Wolfgang Kluger-Eigl
Matr.-Nr.: 086610/9526102
Pötzleinsdorfer Straße 83
1180 Wien

Wien, im Juni 2009

Unterschrift: Digital unterschrieben von Wolfgang Kluger-Eigl
Grund: Ich bin der Verfasser dieses Dokuments

Vorwort

Die vorliegende Arbeit soll für alle Nutzer des Griffigkeitsmesssystems GripTester eine Grundlage und Hilfestellung für die praktische Anwendung des Gerätes sein sowie die Möglichkeit geben, die auf Straßen gemessenen Reibungsbeiwerte beurteilen zu können.

Dank der Kooperation mit arsenal research, der Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft (ASFINAG), den Landesregierungen von Niederösterreich, Oberösterreich und Tirol wurde die Entwicklung eines Bewertungshintergrundes für den GripTester ermöglicht.

Ein besonderer Dank gilt Herrn o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Dr.h.c. Johann Litzka, der mir die Möglichkeit geboten hat, diese Arbeit zu verfassen und mir seine Erfahrungen in Gesprächen und Diskussionen weitervermittelt hat sowie auch die mühevolle Arbeit im Zuge der Durchsicht und Korrektur dieser Dissertation auf sich genommen hat.

Danken möchte ich auch Herrn Univ.Prof. Dr.-Ing. J. Stefan Bald, der diese Arbeit als Koreferent mit betreut hat und mir im Rahmen der GripTester Usergrouptreffen für Fragen zur Verfügung stand sowie die Teilnahme an den GripTester Ringversuchen ermöglichte und die Messdaten für weitere Auswertungen zur Verfügung stellte.

Ein ganz besonders lieber Dank gilt meiner Frau, die mich laufend motivierte und mir den Freiraum zur Erstellung dieser Arbeit gewährte, während sie sich um unsere Tochter kümmerte. Dies gilt auch für meine Eltern und Schwiegereltern, ohne die ich nicht so viel Zeit gefunden hätte diese Arbeit zu verfassen, weshalb ich mich bei ihnen auch herzlich bedanken möchte.

Kurzfassung

Entwicklung eines Bewertungshintergrundes für das Griffigkeitsmesssystem GripTester in Österreich

In der vorliegenden Arbeit wurde die Möglichkeit des Einsatzes des Griffigkeitsmesssystems GripTester im Zugbetrieb auf dem österreichischen Straßennetz untersucht. Dazu wurden umfangreiche Messungen auf Autobahnen, Schnellstraßen und Landesstraßen mit dem GripTester des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien (ISTU) durchgeführt. Weiters erfolgte die Teilnahme an drei Ringversuchen in Deutschland, um die Präzision des Messsystems bestimmen zu können.

Mit dem Messsystem GripTester konnte eine gute Wiederholgenauigkeit erreicht werden, die mit jener des in Österreich etablierten Griffigkeitsmesssystems RoadSTAR vergleichbar ist. Im Juni 2009 wurde auf Basis der Erkenntnisse dieser Arbeit in den österreichischen Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau die RVS 11.06.71 „Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester“ veröffentlicht, welche die einheitliche Anwendung dieses Messsystems in Österreich regelt.

Zur Entwicklung eines Bewertungshintergrundes wurden Vergleichsmessungen zwischen GripTester und RoadSTAR auf in Österreich typischen Fahrbahnoberflächen durchgeführt. Mittels Regressionsanalysen konnte eine Funktion ermittelt werden, mit der es in vielen Fällen möglich ist, die Reibungsbeiwerte von GripTester auf RoadSTAR umzurechnen. Der auf Datenbasis des RoadSTAR entwickelte österreichische Bewertungshintergrund 1996 für die Griffigkeit konnte nun herangezogen werden, um auch Messergebnisse des GripTesters beurteilen zu können. Für den praktischen Einsatz des GripTesters wurden folgende Bereiche vorgeschlagen:

- Griffigkeitsmessung auf Netzebene: Vorbeurteilung als Screening-Gerät auf Teilabschnitten des hochrangigen Straßennetzes und Einsatz auf kommunalen Straßennetzen.
- Griffigkeitsmessung auf Projektebene: Vorbeurteilung für Abnahme- und Gewährleistungsprüfung sowie Beurteilung von Unfallhäufungsstellen.

Der GripTester wird speziell auf Projektebene als wirtschaftliches Ergänzungsgerät zum RoadSTAR angesehen und kann für die Abnahme- und Gewährleistungsprüfung auf kurzen Baulosen das SRT-Pendel ersetzen.

Abstract

Development of an evaluation background for the skid resistance measuring device GripTester in Austria

The research project investigated the feasibility of using the GripTester in towing mode for measuring the skid resistance on the Austrian road network. Therefore a lot of measurements on trunk roads and rural roads were performed with the GripTester owned by the Institute for Road Construction and Maintenance at the Technical University Vienna (ISTU). The Austrian GripTester also took part at three round robin tests in Germany to evaluate the precision.

The GripTester attained a good repeatability of results of a level similar to the RoadSTAR skid resistance measuring system, which is well established in Austria. In June 2009, based on the results of this investigation, the guideline RVS 11.06.71 „Skid resistance measurements with the GripTester“ was published, which regulates the measuring procedure in Austria.

For the development of an evaluation background, comparative measurements were performed using GripTester and RoadSTAR on typical wearing courses of roads in Austria. Through regression analyses, a function was determined for a number of wearing courses that permitted the conversion of GripTester friction coefficients to RoadSTAR friction coefficients. As a next step, the Austrian evaluation background 1996 for skid resistance, developed on the basis of RoadSTAR results, was used to assess the friction coefficients measured by the GripTester. The following areas were proposed as practical for use of the GripTester:

- Measurement of skid resistance at network level: use as a screening device for a preliminary survey of specific sections of the trunk road network and use on the lower-level road network.
- Measurement of skid resistance at project level: preliminary assessment in acceptance and warranty testing as well as assessment of accident black spots.

The GripTester is not intended to replace RoadSTAR but to serve as an economical additional device and can replace the SRT pendulum tester for acceptance and warranty testing on short sections.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

1.1 Problemstellung und Zielsetzung 1

1.2 Vorgangsweise 3

2 Grundlagen zur Fahrbahngriffigkeit 6

2.1 Begriffsdefinitionen 6

2.2 Reibungsmechanismus zwischen Reifen und Fahrbahn 8

2.2.1 Adhäsion 9

2.2.2 Hysterese 10

2.2.3 Resultierender Reibungsbeiwert aus Adhäsion und Hysterese 11

2.3 Einflussfaktoren auf die Fahrbahngriffigkeit 11

2.3.1 Reifen 13

2.3.2 Fahrbahn 15

2.3.3 Bewegungszustände des Fahrzeuges 20

2.3.4 Zwischenmedium 21

3 Griffigkeitsmesssysteme 28

3.1 Überblick über die Messsysteme 28

3.1.1 Stationäre Griffigkeitsmesssysteme 29

3.1.2 Dynamische Griffigkeitsmesssysteme 29

3.2 Messsystem SRT-Pendel 30

3.2.1 Allgemeine Beschreibung 30

3.2.2 Technische Beschreibung des Messsystems 31

3.2.3 Messprinzip 32

3.2.4 Einsatzbereich 33

3.3 Messsystem RoadSTAR 34

3.3.1 Allgemeine Beschreibung 34

3.3.2 Technische Beschreibung des Messsystems 35

3.3.3 Messprinzip 38

3.3.4 Einsatzbereich 39

3.4 Messsystem GripTester 39

3.4.1 Allgemeine Beschreibung 39

3.4.2 Technische Beschreibung des Messsystems 42

3.4.3 Messprinzip 49

3.4.4 Einsatzbereich 51

3.5 Sonstige Messsysteme in Europa 51

3.5.1 Stuttgarter Reibungsmesser 51

3.5.2 SCRIM bzw. SKM 54

3.5.3 ROAR 56

3.5.4 ADHERA 57

3.5.5 Tatra Runway Tester 57

3.5.6 DWW Trailer 58

3.5.7 Skiddometer Trailer 59

3.5.8 Portable Friction Testers 60
4 Richtlinien zu Griffigkeitsanforderungen und Griffigkeitsmessungen 62
4.1 Österreich 62
4.1.1 RVS 08.16.01 und RVS 08.17.02 63
4.1.2 RVS 11.06.65 65
4.1.3 RVS 11.06.71 65
4.1.4 RVS 13.01.15 65
4.1.5 RVS 05.03.12 66
4.1.6 ÖNORM B 3591 66
4.1.7 Österreichischer Bewertungshintergrund Griffigkeit 66
4.2 Deutschland 69
4.2.1 ZTV Asphalt-StB 01 und ZTV Beton-StB 69
4.2.2 ZTV ZEB-StB 71
4.2.3 TP Griff-StB SKM 72
4.2.4 TP Griff-StB SRT 72
4.2.5 Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren 72
4.2.6 Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem SRM 72
4.2.7 MB Griff 73
4.2.8 ZTV M 02 74
4.2.9 Deutscher Bewertungshintergrund Griffigkeit 74
4.3 Großbritannien 76
4.3.1 BS 7941-1 76
4.3.2 BS 7941-2 76
4.3.3 HD 28/04 76
4.4 Europäische Normen 77
4.4.1 EN 13036-3 77
4.4.2 EN 13036-4 77
4.4.3 EN 1436 78
4.4.4 CEN-Finalentwurf EN 13036-2 78
4.4.5 CEN-Entwurf GripTester 79
4.4.6 CEN-Entwurf RoadSTAR 79
4.5 Flugpisten 79
4.6 Zusammenfassende Beurteilung der Richtlinien 81
5 Standardisiertes Messverfahren für den GripTester in Österreich 82
5.1 Messeinstellungen 83
5.1.1 Messgeschwindigkeit 83
5.1.2 Wasserfilmdicke 83
5.1.3 Datenaufzeichnung 84
5.1.4 Sonstige Einstellungen 84
5.2 Messbedingungen 84
5.3 Messdurchführung 85
5.4 Auswertung 85
5.5 Qualitätssicherung 86
5.5.1 Österreich 86
5.5.2 Deutschland 87

6 Ermittlung der Messgenauigkeit des Messsystems GripTester 89
6.1 Allgemeine Grundlagen 89
6.2 Statistische Kenngrößen 91
6.2.1 Auswertung von Ringversuchen 91
6.2.2 Ausreißerprüfung 91
6.2.3 Präzision 92
6.2.4 Wiederholbedingungen 92
6.2.5 Vergleichbedingungen 92
6.2.6 Mittelwert 93
6.2.7 Standardabweichung 93
6.2.8 Messniveaumittelwert 94
6.2.9 Wiederholstandardabweichung 94
6.2.10 Vergleichstandardabweichung 94
6.2.11 Funktionale Abhängigkeit der Standardabweichungen 95
6.2.12 Wiederholgrenze 95
6.2.13 Vergleichgrenze 96
6.2.14 Vertrauensbereich 96
6.3 Messgenauigkeit aus Ringversuchen 96
6.3.1 GT Ringversuch Großbritannien 1993 97
6.3.2 GT Ringversuch Deutschland 2002 99
6.3.3 GT Ringversuch Deutschland 2003 103
6.3.4 GT Ringversuch Deutschland 2004 108
6.3.5 GT Ringversuch Großbritannien 2004 111
6.4 Messgenauigkeit aus Wiederholungsmessungen auf dem österreichischen Straßennetz (2005-2007) 113
6.4.1 Allgemeines 113
6.4.2 Messprogramm 113
6.4.3 Wiederholgenauigkeit für 50-m-Mittelwerte 114
6.4.4 Wiederholgenauigkeit für 5-m-Mittelwerte 118
6.4.5 Messgenauigkeit RoadSTAR-Verfahren 120
6.4.6 Abweichung der Ersten Messung 124
6.5 Beurteilung der Messgenauigkeit des GripTesters 125
6.5.1 Zusammenfassung der Ringversuchsergebnisse 125
6.5.2 Zusammenfassung der österreichischen Wiederholungsmessungen 126
6.5.3 Vergleich der Messgenauigkeit GripTester – RoadSTAR 126
6.5.4 Vertrauensbereich der Messergebnisse 127
7 Sonstige Untersuchungen mit dem GripTester 129
7.1 Einfluss der Messgeschwindigkeit 129
7.1.1 Messprogramm 130
7.1.2 Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte GripTester 131
7.1.3 Korrektur- und Umrechnungsmöglichkeit der Reibungsbeiwerte GripTester bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten 133
7.1.4 Untersuchungen der TU Bochum zum Einfluss der Messgeschwindigkeit 137
7.1.5 Zusammenfassende Beurteilung des Einflusses der Messgeschwindigkeit 138
7.2 Einfluss der Textur 139
7.2.1 Messprogramm 139
7.2.2 Texturabhängigkeit der Reibungsbeiwerte GripTester 140

7.2.3 Textur- und Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte 143
7.2.4 Zusammenfassende Beurteilung des Einflusses der Textur 144
7.3 Einfluss der Temperatur 144
7.3.1 Messprogramm 145
7.3.2 Temperaturabhängigkeit der Reibungsbeiwerte 145
7.3.3 Zusammenfassende Beurteilung des Einflusses der Temperatur 147
7.4 Einfluss des Kurvenverhaltens 147
7.4.1 Messprogramm 148
7.4.2 Kurvenverhalten von MK1 und MK2 149
7.4.3 Kurvenverhalten MK1 im Schiebebetrieb 151
7.4.4 Untersuchungen der TU Bochum zum Kurvenverhalten 151
7.4.5 Zusammenfassende Beurteilung des Kurvenverhaltens 152
7.5 Qualitätssicherung 152
7.5.1 Messprogramm 155
7.5.2 Referenzmessungen 155
7.5.3 Reifenvergleichsmessungen 157
7.5.4 Zusammenfassende Beurteilung der Messungen zur Qualitätssicherung 158
8 Harmonisierung von Griffigkeitsmesssystemen 159
8.1 Allgemeines 159
8.2 PIARC Ringversuch 1992 160
8.2.1 Teilnehmende Griffigkeitsmesssysteme 160
8.2.2 Messstreckenauswahl 161
8.2.3 Messdurchführung 161
8.2.4 Auswertung PIARC Ringversuch 161
8.3 Vergleichsmessungen GripTester – SCRIM 1993 164
8.4 HERMES Projekt 2001/02 165
8.4.1 Teilnehmende Griffigkeitsmesssysteme 165
8.4.2 Messstreckenauswahl 166
8.4.3 Messdurchführung 166
8.4.4 Auswertung HERMES Projekt 166
8.5 Vergleichsmessungen GripTester – SCRIM 2004 168
8.6 Vergleichsmessungen RoadSTAR/GripTester – SRT-Pendel 169
8.7 TYROSAFE Projekt 2008 – 2010 171
8.8 Beurteilung und Zukunft der Harmonisierungsversuche 172
9 Vergleichsmessungen GripTester – RoadSTAR 174
9.1 Grundlegende Überlegungen 174
9.2 Messprogramm 175
9.2.1 Messstreckenauswahl 175
9.2.2 Messdurchführung 176
9.3 Vergleich der Reibungsbeiwerte 177
9.3.1 Differenzen der Reibungsbeiwerte GripTester – RoadSTAR 177
9.3.2 Texturabhängigkeit der Differenzen der Reibungsbeiwerte 180
9.3.3 Korrelation GripTester 60 km/h – RoadSTAR 60 km/h 181
9.3.4 Korrelation GripTester 40 km/h – RoadSTAR 60 km/h 185

9.3.5 Zusammenfassende Beurteilung des Vergleiches der Reibungsbeiwerte GripTester – RoadSTAR 189
9.4 Vergleich mittels International Friction Index (IFI) 190
9.4.1 Korrelation IFI GripTester 60 km/h – RoadSTAR 60 km/h 191
9.4.2 Korrelation IFI GripTester 40 km/h – RoadSTAR 60 km/h 192
9.4.3 Zusammenfassende Beurteilung des Vergleichs mittels IFI 193
9.5 Vergleich mittels European Friction Index (EFI) 195
9.6 Umrechnungsfunktion GripTester – RoadSTAR 195
9.6.1 Deckschichten SMA, AB, BTD, OBH und Beton 195
9.6.2 Deckschichten DA, LSMA, DD und Waschbeton 195
9.6.3 Vertrauensbereich der Umrechnungsfunktion 195
10 Praktischer Einsatz des GripTesters in Österreich 197
10.1 Einsatzmöglichkeiten und Bewertungshintergrund 197
10.1.1 Zustandserfassung auf Projektebene 198
10.1.2 Zustandserfassung auf Netzebene 200
10.2 Hinweise für den Einsatz des GripTesters 205
11 Zusammenfassung 206
12 Literaturverzeichnis 212
Anhang A: GripTester Ringversuche in Deutschland (2002, 2003 und 2004) **223**
Anhang B: GripTester und RoadSTAR Messungen auf dem österreichischen Straßennetz (2005 – 2007) **241**
Anhang C: GripTester Messungen auf dem „SkidPad“ (2007) **265**

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

In einem Industriestaat wie Österreich bilden die Straßen einen wesentlichen wirtschaftlichen Faktor, da sie täglich von Millionen von Menschen benutzt werden. Nicht nur der Berufs- und Transportverkehr, sondern auch der private Freizeitverkehr haben in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich zugenommen. Dabei setzt der Straßenbenutzer voraus, dass das Bauwerk Straße in einem guten Zustand zur Verfügung steht, der eine sichere Fahrt gewährleistet. Aufgrund eines begrenzten Budgets, das den Straßenerhaltern jährlich zur Verfügung steht, ist es wesentlich die Gelder richtig einzusetzen, um langfristig einen guten Straßenzustand aufrecht erhalten zu können. Dazu ist es notwendig, den Straßenzustand laufend zu überprüfen, um rechtzeitig erforderliche Maßnahmen planen zu können.

Eines der wesentlichsten Zustandsmerkmale der Straße ist die Griffigkeit, da diese Gebrauchseigenschaft der Fahrbahnoberfläche maßgebend für die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer ist. Ein Kraftfahrzeug kann nur dann sicher auf der Straße bewegt werden, wenn ein ausreichender Kraftschluss zwischen den Reifen und der Fahrbahn möglich ist. Dieser Kraftschluss hängt von der Griffigkeit ab, welche hauptsächlich von der Makrotextur der Fahrbahnoberfläche, der Mikrotextur der Gesteinsoberflächen, der Bauart und dem Bewegungszustand des Reifens, der Fahrgeschwindigkeit und einem eventuell vorhandenen Zwischenmedium (z.B. Wasser, Eis, Schmutz) beeinflusst wird. Ein Parameter zur Beurteilung der Griffigkeit ist der Reibungsbeiwert μ [-], der mittels dynamischer Griffigkeitsmessgeräte erfasst werden kann.

Für einen Fahrzeuglenker ist es allerdings nicht möglich, das vorhandene Griffigkeitsniveau bzw. den Reibungsbeiwert einer Fahrbahnoberfläche während der Fahrt zu erkennen. Gemäß dem § 20 „Fahrgeschwindigkeit“ der österreichischen Straßenverkehrsordnung (StVO) [1] muss der Lenker aber seine Fahrgeschwindigkeit so wählen, dass er innerhalb der vorhandenen Haltesichtweiten das Fahrzeug zum Stillstand bringen kann. Daher ist es notwendig, durch Griffigkeitsanforderungen und periodische Messungen ein ausreichendes Griffigkeitsniveau sicher zu stellen bzw. bei schlechter Griffigkeit geschwindigkeitsbeschränkende oder bauliche Maßnahmen zu veranlassen.

In Österreich werden zur Gewährleistung einer ausreichenden Griffigkeit von Deckschichten schon lange Anforderungen an den Polierwiderstand (PSV - Polished Stone Value) von Gesteinskörnungen und an die Oberflächentextur (MTD - Mean Texture Depth) gestellt, welche in den Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS) festgelegt sind. Diese Anforderungen gewährleisten aber nur, dass die Gesteinsoberflächen während der Lebensdauer resistent gegen

Polierbeanspruchungen sind und die fertige Fahrbahnoberfläche eine Mindesttexturtiefe aufweist, beurteilen somit nur indirekt die vorhandene Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche.

Zur Überprüfung der Griffigkeit einer Fahrbahnoberfläche ist in Österreich seit langer Zeit ein stationäres Kleingerät im Einsatz, das Pendelprüfgerät (SRT – Skid Resistance Tester). Dieses weltweit verbreitete Messsystem kann den Straßenzustand aber nur punktuell erfassen und erfordert einen hohen Zeitbedarf sowie eine Absperrung des Messbereiches während der Messdurchführung.

Seit 1991 werden periodische Griffigkeitsmessungen mit einem dynamischen Großgerät auf dem österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz sowie auf dem Netz der ehemaligen Bundesstraßen B (seit 2002 Landesstraßen B) als Grundlage für die Erhaltungsplanung durchgeführt. Seit dem Jahr 2005 erfassen auch einige Bundesländer den Straßenzustand des Landesstraßennetzes im Zuge der Implementierung eines Erhaltungsmanagementsystems (EMS).

Im Rahmen des nationalen Verkehrssicherheitsprogramms 2002 – 2010 der österreichischen Bundesregierung, wurden durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) „Ergänzende Vertragsbestimmungen – Griffigkeitsanforderungen für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt und Beton“ [2] herausgegeben. Dadurch werden seit dem 01.01.2005 im Rahmen von Bauverträgen bei der Abnahme- und Gewährleistungsprüfung zusätzliche Griffigkeitsanforderungen für Deckschichten von Neubau-, Erneuerungs-, Erweiterungs- und Instandsetzungsmaßnahmen auf Autobahnen und Schnellstraßen vorgeschrieben. Anfang des Jahres 2007 wurden diese Anforderungen in die RVS 08.16.01 [3] und 08.17.02 [4] eingearbeitet.

Diese neuen Anforderungen werden mit einem dynamischen Griffigkeitsmesssystem überprüft, welches in der RVS 11.06.65 [5] beschrieben ist. Das Straßenzustandserfassungsgerät RoadSTAR (Road Surface Tester of Arsenal Research) ist ein 2-Achs-Lkw der Marke ÖAF, welcher mit einem modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser (STURM) ausgerüstet ist. Zurzeit sind in Österreich zwei dieser Messsysteme im Einsatz, vorwiegend auf dem Autobahn- und Schnellstraßennetz im Auftrag der Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG).

In Zukunft ist aber zu erwarten, dass auch auf dem Landesstraßennetz, welches unter Verwaltung der Länder steht, Griffigkeitsstandards gefordert werden. Einerseits um eine einheitliche Qualität der Fahrbahnoberfläche auf dem gesamten Straßennetz sicherzustellen, andererseits um bei eventuellen Haftungsansprüchen gegenüber dem Straßenhalter dessen Sorgfaltspflicht nachweisen zu können. Für diese Überprüfungen erscheint aber der Einsatz des stationären Pendelprüfgerätes für die Zukunft als nicht praktikabel.

Da die beiden RoadSTAR Geräte mit den periodischen Messungen auf dem österreichischen Straßennetz sowie den Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen auf dem Autobahn- und Schnellstraßennetz ziemlich ausgelastet sein werden, ist es notwendig, Überlegungen über ein alternatives Messsystem, für den vorwiegenden

Einsatz auf dem untergeordneten Straßennetz oder für spezielle Aufgaben (z.B. Untersuchung von Unfallschwerpunkten), anzustellen. Dazu bietet sich der GripTester an, ein kompakter Messanhänger der von einem Kraftfahrzeug (Pkw) gezogen werden kann. Dieses Messsystem arbeitet, wie auch der RoadSTAR, nach dem Prinzip des gebremsten Messrades bei konstantem Schlupf auf einer mit Wasser benetzten Oberfläche. Wegen der gerätebedingten Unterschiede zwischen den beiden Messsystemen, ist aber eine direkte Gleichsetzung der Messergebnisse (Reibungsbeiwerte μ) nicht einfach möglich.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist, Grundlagen und Anwendungsbereiche für den Einsatz des GripTesters in Österreich zu schaffen, sowie eine Bewertungsmöglichkeit der Messergebnisse festzulegen. Der GripTester soll als ergänzendes Messsystem die Lücke zwischen den dynamischen Großgeräten zur netzweiten Zustandserfassung und den stationären Kleingeräten zur punktuellen Beurteilung der Griffigkeit schließen.

1.2 Vorgangsweise

Basis dieser Dissertation sind die GripTester Ringversuche aus Deutschland, an denen der Autor persönlich bereits als Student sowie in seiner weiteren Tätigkeit als Universitätsassistent am Institut für Straßenbau- und Straßenerhaltung der technischen Universität Wien (ISTU) in den Jahren 2002, 2003 und 2004 teilgenommen hat. Weiters sind die Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Grundlagen zur Griffigkeitsmessung mit dem GripTester“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie [6] ein wesentlicher Teil dieser Arbeit. Zusätzlich werden noch ergänzende Untersuchungen mit dem GripTester sowie Literaturrecherchen zur Griffigkeit durchgeführt.

Einleitend werden die wesentlichsten Grundlagen zur Fahrbahngriffigkeit erläutert und die wichtigsten Griffigkeitsmessgeräte in Europa vorgestellt. Weiters werden die Griffigkeitsanforderungen und -messverfahren in Österreich beschrieben sowie mit anderen EU-Ländern verglichen und dabei speziell auf das Messsystem GripTester eingegangen.

Zur Bestimmung und Beurteilung der Messgenauigkeit des GripTesters werden die Daten der drei Ringversuche aus Deutschland ausgewertet, an denen das ISTU mit einem eigenen Messgerät teilgenommen hatte. Weiters werden zusätzlich umfangreiche Wiederholungsmessungen auf dem österreichischen Straßennetz durchgeführt, um die Messgenauigkeit der Ringversuche zu bestätigen bzw. um sie mit jener des RoadSTAR vergleichen zu können.

Die zusätzlichen Untersuchungen mit dem GripTester behandeln die Geschwindigkeits-, Textur-, Temperaturabhängigkeit der Reibungsbeiwerte sowie das Kurvenverhalten, um deren Einflüsse beurteilen zu können. Weiters werden im Rahmen der Qualitätssicherung auch Reifenvergleichsmessungen durchgeführt, um den Einfluss des Gebrauchszustandes des Messreifens bewerten zu können.

Als wesentlicher Hauptpunkt dieser Arbeit soll eine Korrelation der Messergebnisse von GripTester und RoadSTAR ermittelt werden. Anhand dieser sollen Reibungsbeiwerte GripTester (μ_{GT}) auf Reibungsbeiwerte RoadSTAR (μ_{RS}) umgerechnet werden können. Dazu werden mit beiden Messsystemen Griffigkeitsmessungen auf den gleichen Messstrecken unter möglichst gleichen Bedingungen durchgeführt. Ziel ist es, Straßenabschnitte, die mit dem GripTester gemessen werden, anhand des vorhandenen österreichischen Bewertungshintergrundes, welcher auf Basis von RoadSTAR Messergebnissen abgeleitet wurde, beurteilen zu können. Sollte das möglich sein, ist die Erstellung eines eigenen Bewertungshintergrundes für den GripTester nicht notwendig und beide Messsysteme können parallel eingesetzt werden. Wesentlicher Vorteil dabei wäre, dass in Bauverträgen oder im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung dieselben Abnahme-, Ziel-, Warn- und Schwellenwerte für beide Griffigkeitsmesssysteme gelten.

Im Rahmen all dieser Untersuchungen wurden mit dem GripTester Griffigkeitsmessungen auf 44 Abschnitten des österreichischen Straßennetzes und auf einer Teststrecke im ÖAMTC Fahrsicherheitszentrum Teesdorf durchgeführt (siehe Tabelle 1-1). Davon waren 16 Abschnitte auf Autobahnen, 2 auf Schnellstraßen, 7 auf Landestraßen B und 19 auf Landesstraßen L mit einer Gesamtlänge von ca. 73 km. Manche Messstrecke wurden an mehreren Tagen wiederholt gemessen und daher mit den Indizes a, b, c versehen. Alle Messstrecken wurden für diese Dissertation anonymisiert, da zum Messzeitpunkt Abschnitte vorhanden waren, die eine sehr schlechte Griffigkeit aufwiesen. In Tabelle 1-1 ist auch das jeweilige Messdatum von GripTester und RoadSTAR eingetragen, da auf einem Großteil der Strecken auch die Vergleichsmessungen zwischen den beiden Griffigkeitsmesssystemen durchgeführt wurden.

Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen und Erkenntnissen wurde bereits Ende 2007 ein RVS-Merkblattentwurf für den einheitlichen Einsatz des Messsystems GripTester in Österreich ausgearbeitet und dem zuständigen Arbeitsausschuss der Forschungsgesellschaft für Straße, Schiene, Verkehr (FSV) zur weiteren Bearbeitung empfohlen. Im Juni 2009 erschien die RVS 11.06.71 „Griffigkeitsmessungen mit dem System GripTester“ [7]. In dieser Arbeit werden die wesentlichsten Punkte daraus erläutert (Standardisiertes Messverfahren, Messbedingungen, Qualitätssicherung) und mit den Regelungen anderer Länder verglichen.

Tabelle 1-1: Messstreckenauswahl auf dem österreichischen Straßenetz

Nr.	Straßen-kategorie	Deckschicht	Baujahr	Länge [m]	Messdatum GripTester	Messdatum RoadSTAR	Anmerkung
1	A	LSMA 8	2005	500	20.09.2006	16.10.2006	Versuchsstrecke
2	A	LSMA 11	2005	500	20.09.2006	16.10.2006	Versuchsstrecke
3	A	LSMA 11	2005	500	20.09.2006	16.10.2006	Versuchsstrecke
4	A	ZDA 8	2005	500	20.09.2006	16.10.2006	Versuchsstrecke
5	A	ZDA 8	2005	400	20.09.2006	16.10.2006	Versuchsstrecke
6	A	DA 8	2005	600	20.09.2006	16.10.2006	Versuchsstrecke
7	A	SMA 11	2006	2000	14.09.2006	19.07.2006	
8a	A	SMA 11	2005	2000	14.10.2005	15.10.2005	RoadSTAR Referenzstrecke alt
8b	A	SMA 11	2005	2000	13.06.2006	-	RoadSTAR Referenzstrecke alt
9	A	SMA 11	2005	500	20.09.2006	16.10.2006	Versuchsstrecke
10a	A	SMA 11	2002	2000	24.08.2006	28.07.2006	RoadSTAR Referenzstrecke neu
10b	A	SMA 11	2002	2000	15.11.2006	17.11.2006	RoadSTAR Referenzstrecke neu
10c	A	SMA 11	2002	2000	03.09.2007	-	RoadSTAR Referenzstrecke neu
11	S	SMA 11	2001	2000	09.10.2006	01.09.2006	
12	B	SMA	1996	1200	27.07.2007	03.04.2007	
13	L	SMA 11	1994	2000	09.08.2005	28.07.2005	
14	A	AB 11	2005	500	20.09.2006	16.10.2006	Versuchsstrecke
15	B	AB	1985	1200	13.07.2007	24.04.2007	
16	B	AB	1986	1200	13.07.2007	03.04.2007	
17	B	AB 11	1989	2000	21.09.2006	08.05.2006	
18	B	AB 11	2002	2000	08.05.2006	-	Starke Spurrinnen
19	B	AB 11	2000	2000	08.05.2006	-	Starke Spurrinnen
20	L	AB 11	1998	2000	09.08.2005	29.07.2005	
21	L	AB 11	2005	2000	10.08.2005	27.07.2005	
22	L	AB 11	1998	2000	26.07.2005	12.07.2005	
23	L	AB 11	2004	2000	05.08.2005	21.07.2005	
24	L	AB 11	1998	2000	27.07.2005	-	
25	L	AB 8	1999	2000	05.08.2005	21.07.2005	
26	A	BTD 16	1992	2000	15.07.2005	18.07.2005	Referenzstrecke alt
27	L	BTD 16	1997	2000	09.08.2005	27.07.2005	
28	L	BTD 16	1997	2000	10.08.2005	27.07.2005	
29	L	BTD 16	1996	2000	10.08.2005	27.07.2005	
30	L	BTD 16	2002	2000	04.08.2005	21.07.2005	
31	L	BTD 16	1994	2000	28.07.2005	13.07.2005	
32	L	BTD 16	1994	2000	28.07.2005	13.07.2005	
33	L	BTD 16	2000	2000	28.07.2005	14.07.2005	
34	B	OBH	1993	1200	27.07.2007	02.04.2007	
35	L	OBH 8	2004	2000	27.07.2005	14.07.2005	
36	L	OBH 8	1994	2000	27.07.2005	14.07.2005	Schlechte Längsebenheit
37	L	OBH	2002	2000	28.07.2005	-	
38	L	DD 8	2003	2000	27.07.2005	14.07.2005	Rissverfüllungen
39	L	DD 5	2001	2000	28.07.2005	13.07.2005	
40	A	Beton 22 gefräst	1997	2000	08.09.2006	30.08.2006	
41	A	Beton 22 gefräst	1998	2000	08.09.2006	30.08.2006	
42a	A	Waschbeton 8	1998	2000	15.07.2005	18.07.2005	RoadSTAR Referenzstrecke alt
42b	A	Waschbeton 8	1998	2000	14.10.2005	15.10.2005	RoadSTAR Referenzstrecke alt
42c	A	Waschbeton 8	1998	2000	13.06.2006	-	RoadSTAR Referenzstrecke alt
43a	A	Waschbeton 8	2005	2000	24.08.2006	04.09.2006	RoadSTAR Referenzstrecke neu
43b	A	Waschbeton 8	2005	2000	15.11.2006	17.11.2006	RoadSTAR Referenzstrecke neu
43c	A	Waschbeton 8	2005	2000	03.09.2007	-	RoadSTAR Referenzstrecke neu
44	S	Waschbeton 8	2005	2000	05.09.2006	20.07.2006	
45a	-	TG Inatol	-	50	20.06.2006	-	Rutschbelag Testgelände
45b	-	TG Inatol	-	50	23.11.2006	23.11.2006	Rutschbelag Testgelände

2 Grundlagen zur Fahrbahngriffigkeit

In diesem Kapitel werden der Reibungsmechanismus zwischen Reifen und Fahrbahn sowie die wesentlichsten Einflussfaktoren auf die Griffigkeit beschrieben. Bereits *Leonardo Da Vinci* erkannte, dass die Reibung zwischen zwei aneinander gepressten Körpern unabhängig von der Größe der Kontaktfläche ist. Im 18. Jahrhundert erweiterte *Charles Coulomb* diesen Ansatz und stellte fest, dass die Reibung auch von der Geschwindigkeit unabhängig ist, aber von der wirkenden Auflagekraft (Normalkraft) abhängt. Die Gesetze der klassischen Reibungsphysik können aber nicht direkt auf den Reibungsmechanismus zwischen Reifen und Fahrbahn übertragen werden. Im Jahr 1966 wurde von *Hartwig Kummer* die „Vereinheitlichte Theorie der Gummi- und Reifenreibung“ [8] [9] [10] entwickelt, die bis heute die theoretische Grundlage bildet und noch immer Stand der Technik ist.

2.1 Begriffsdefinitionen

Die “Griffigkeit“ kennzeichnet die Wirkung der Textur und der stofflichen Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche auf den Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn unter festgelegten Bedingungen [11]. Die Griffigkeit einer Fahrbahnoberfläche ist für die Übertragung der Längskräfte (Antriebs- und Bremskräfte) und der Seitenkräfte (Kurvenfahrt) vom Reifen auf die Fahrbahn maßgebend. Die kennzeichnende Größe für die Griffigkeit ist der Reibungsbeiwert μ [-], der standardmäßig auf einer angenässten Fahrbahnoberfläche gemessen wird.

Die “Textur“ ist die geometrische Gestalt der Fahrbahnoberfläche im Wellenlängenbereich von wenigen Mikrometern bis einigen Dezimetern. Je nach Wellenlänge wird zwischen Mikro-, Makro- und Megatextur unterschieden [11]. Die Textur bestimmt neben der Griffigkeit auch die weiteren praxisrelevanten Gebrauchseigenschaften der Straßenoberfläche wie Sprühfahnenbildung, Reifenrollgeräusch, Reifenverschleiß und Rollwiderstand [12].

Unter „Mikrotextur“ versteht man Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung < 0,5 mm, welche den Schärfegrad der Gesteinsoberflächen beschreiben. Elemente mit einer Größenordnung von 0,01 mm haben einen sehr großen Einfluss auf die Nassreibung zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche [11].

Unter „Makrotextur“ versteht man Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung von 0,5 mm bis 50 mm, wobei jedoch nur Elemente bis zur Größenordnung von 10 mm durch ihre Drainagewirkung die Griffigkeit beeinflussen [11].

Unter „Megatextur“ werden Rauheitselementen mit einer horizontalen Ausdehnung von 50 mm bis 500 mm verstanden, welche einen Einfluss auf die Bildung von Wasseransammlungen auf der Fahrbahn haben können [11].

Der “Kraftschluss“ dient der Übertragung von Kräften in der Reifenaufstandsfläche durch Reibung. Er resultiert aus der Wechselwirkung zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche, beeinflusst von der Textur, den Reifeneigenschaften, der Anwesenheit und Dicke eines Zwischenmediums (z.B. Wasser) sowie der Geschwindigkeit [11].

Die “Reibung“ bezeichnet den Widerstand der relativen Bewegung zwischen zwei Körpern, die miteinander in Kontakt sind. Die daraus resultierende Reibungskraft wirkt tangential zur Kontaktfläche.

Der “Reibungsbeiwert“ (in der Literatur auch oft als Reibwert, Reibbeiwert, Reibungswert, Reibungskoeffizient, Reibungswiderstand, oder Kraftschlussbeiwert bezeichnet) ist der Quotient aus der durch Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche aktivierten Reibungskraft und der Normalkraft [11]. Man unterscheidet je nach Schlupfzustand und Radstellung zwischen dem Längsreibungsbeiwert am “konstant gebremsten Rad“, dem Gleitreibungsbeiwert am “blockierten Rad“ und dem Seitenkraftbeiwert am “schräglaufendem Rad“.

Der “Schlupfzustand“ beschreibt die Relativbewegung zwischen dem Reifen und der Fahrbahnoberfläche und tritt immer dann auf, wenn die Umfangsgeschwindigkeit des Rades von der Fahrgeschwindigkeit abweicht. Der Schlupf wird in Prozent angegeben und für längslaufende Räder nach Formel 2-1 berechnet. Dabei ist zwischen drei Bewegungszuständen des Rades zu unterscheiden:

- Das Rad läuft frei ab (0 % Schlupf)
- Das Rad ist blockiert (100 % Schlupf)
- Das Rad läuft im Verhältnis zum zurückgelegten Weg zu langsam (gebremst) oder zu schnell (beschleunigt)

$$S = \frac{v - r \times \varpi}{v} \times 100 \qquad \textbf{Formel 2-1}$$

S Schlupf [%]

v Geschwindigkeit des frei rollenden Rades (Fahrgeschwindigkeit)

r Radius des Rades

ω Winkelgeschwindigkeit des Rades

Für schräglaufende Räder wird der Schlupf gemäß Formel 2-2 in Abhängigkeit des Schräglaufwinkels zur Fahrtrichtung berechnet und ebefalls in Pozent angegeben:

$$S = 100 \times \sin \alpha \qquad \textbf{Formel 2-2}$$

S Schlupf [%]

α Der auf die Reifenaufstandsfläche projizierte Schräglaufwinkel zwischen Radmittelebene und der Bewegungsrichtung des Messrades [°]

2.2 Reibungsmechanismus zwischen Reifen und Fahrbahn

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Reibungsphysik geht man davon aus, dass es einen quantifizierbaren Wert geben muss, der das Verhältnis der wirkenden Vertikal- und Horizontalkräfte in der Reifenaufstandsfläche beschreibt. Dieser Wert ist physikalisch gesehen ein Reibungsbeiwert, der unabhängig von der Größe der Auflagefläche und proportional zur vertikalen Normalkraft ist. Je größer der Reibungsbeiwert ist, umso größer ist auch der durch Reibung erzeugte Widerstand bzw. die übertragbare Horizontalkraft. Ist der Reibungsbeiwert in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn gleich Null, dann findet auch keine Kraftübertragung statt.

Da der Reibungsbeiwert für statische Reibung größer als für kinematische Reibung ist, unterscheidet man zwischen Haft- und Gleitreibung. Die Haftreibung ist jene Reibung, die zu überwinden ist, um einen ruhenden Körper in Bewegung zu setzen. Die Gleitreibung wird überwunden, um einen Körper im Bewegungszustand zu belassen. Das bedeutet im Gegensatz zur statischen Haftreibung, dass bei der Gleitreibung eines Fahrzeuges in der Grenzfläche zwischen Reifen und Fahrbahn erst dann eine Reibungskraft entstehen kann, wenn eine Relativbewegung zwischen der Reifenaufstandsfläche und der Straßenoberfläche stattfindet.

Die „Vereinheitlichte Theorie der Gummi- und Reifenreibung“ von *Kummer* [8] [9] [10] beschreibt den Reibungsmechanismus in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn mit zwei wesentlichen Reibungskomponenten, die jedoch nicht immer gleichzeitig auftreten müssen:

- Adhäsion (Oberflächenkräfte)
- Hysterese (dynamische Deformation)

Diese beiden Hauptkomponenten der Gummireibung (siehe Abbildung 2-1), treten auch bei Griffigkeitsmessungen auf Straßen auf, da keine Fahrbahnoberfläche so glatt ist, dass die Hysteresekomponente vollkommen ausgeschaltet werden kann, und keine Fahrbahnoberfläche so gut „geschmiert“ ist, dass die Adhäsionskomponente gänzlich unbedeutend wird. Auf trockenen Fahrbahnen wird die Reibung im Allgemeinen maßgeblich durch Adhäsion und Hysterese, auf nassen Fahrbahnen jedoch überwiegend durch Hysterese bestimmt.

Für die maßgebende Hysteresereibung zwischen Reifen und nassen, rauen Fahrbahnoberflächen wurde kürzlich auch ein Modell von *Klüppel* und *Heinrich* entwickelt [13], um experimentelle Reibungsbeiwerte beschreiben zu können. Im Rahmen dieser Arbeit wird aber nur kurz auf die wesentlichsten physikalischen Hauptkomponenten der Gummireibung eingegangen.

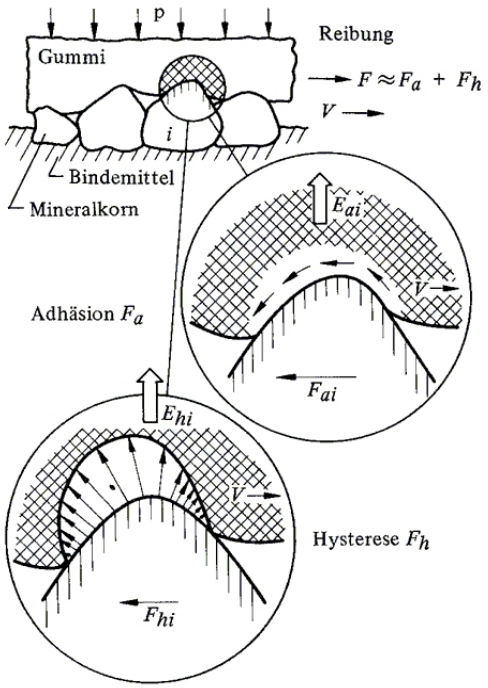


Abbildung 2-1: Hauptkomponenten der Gummireibung Adhäsion und Hysterese [10]

2.2.1 Adhäsion

Adhäsionskräfte entstehen dort, wo Gummi- und Fahrbahnpartikel in engen Kontakt kommen, sodass molekulare Anziehungskräfte wirksam werden können. Die Adhäsionskomponente (obere Vergrößerung in Abbildung 2-1) ist die Summe der molekularen Bindungskräfte zwischen den Polymerketten des Reifengummis (Reifenelement) und den Molekülen der Straßenoberfläche (Rauheitselement).

Durch eine Gleitbewegung zwischen beiden Oberflächen werden die Polymerketten des Reifengummis vorerst gedehnt, bis es schließlich zu einer Lösung der Verbindung mit den Molekülen der Fahrbahn kommt. Die gedehnte Polymerkette zieht sich anschließend wieder in die Ausgangslage zusammen, bevor neue Bindungen eingegangen werden.

Die Adhäsionskomponente F_a wird allgemein als das Produkt aus der Schubspannung in der Grenzfläche des Reifengummis mit dem Rauheitselement der Fahrbahnoberfläche angenommen (siehe Formel 2-3). Die Adhäsion ist somit abhängig von der Größe der Berührungsfläche zwischen Reifen und Fahrbahn und wird auch als Oberflächenkomponente der Reibung bezeichnet. Die Adhäsionskomponente ist sehr empfindlich gegenüber Zwischenmedien und sinkt auf ein geringes und geschwindigkeitsunabhängiges Niveau ab, wenn die Oberfläche mit Wasser benetzt ist.

$$F_a = S \times \sum_{i=1}^{n} A_i = S \times A \qquad \textbf{Formel 2-3}$$

F_a Adhäsionskraft

S Schubspannung

A_i Berührfläche des Reifengummis mit dem Rauheitselement i

A Summe der Teilkontaktflächen

Dividiert man die Adhäsionskraft F_a durch die vertikale Radlast P, so erhält man den dimensionslosen Adhäsionskoeffizienten f_a nach Formel 2-4:

$$f_a = \frac{F_a}{P}$$ **Formel 2-4**

2.2.2 Hysterese

Beim Gleiten des Gummielementes über ein Rauheitselement kommt es zu senkrecht zur Kontaktfläche wirkenden Deformationen des Gummis, ebenso bei der entgegen gerichteten Rückverformung. Da der Reifengummi ein viskoelastisches Stoffverhalten aufweist, setzt sich die Deformation aus einem elastischen und einem viskosen Anteil zusammen. Während sich der elastische Anteil verlustfrei spontan rückverformt, entstehen aufgrund der Dämpfungseigenschaft des Materials Dämpfungsverluste, die in Wärme umgewandelt werden. Die Hysterese beschreibt somit die Wirkungsfortdauer nach Beendigung der Ursache, welche einen Energieverlust herbeiführt (Dissipation infolge Deformation).

Die Hysteresekomponente F_h ist also auf Dämpfungsverluste im Inneren des Gummis zurückzuführen. Die Dämpfungseigenschaft des Gummis wirkt sowohl der aufwärtsgerichteten Verformung als auch der abwärtsgerichteten Rückverformung des Reifens entgegen, wodurch eine Art Verzahnung entsteht. Der Gummi benötigt eine gewisse Zeit zur Rückverformung, die von der Dämpfungseigenschaft sowie der Größe der Deformation abhängt. Mit steigender Geschwindigkeit bleibt dem Gummi nicht mehr genügend Zeit zur Rückverformung, und er beginnt sich vom Rauheitselement abzulösen.

Eine Hysterese entsteht dann, wenn eine Rückbildung vertikaler als auch horizontaler Verformung langsamer geschieht, als dass aufgrund der Geschwindigkeit ein neues Element der Reifenlauffläche in Berührung mit der Fahrbahnoberfläche kommt. Dadurch entsteht die in Abbildung 2-1 dargestellte unsymmetrische Spannungsverteilung. Anders als bei der Adhäsion hat ein Zwischenmedium auf die Hysteresekomponente nur einen sehr geringen Einfluss, solange ein Kontakt zwischen Reifen und Fahrbahn hergestellt werden kann. Die Reibungskomponente der Hysterese F_h wird vereinfacht nach Formel 2-5 ermittelt:

$$F_h = \left(\frac{1}{b}\right) \times \sum_{i=1}^{n} E_{hi} = \left(\frac{1}{b}\right) \times E_h$$ **Formel 2-5**

F_h Hysteresekraft

b Einheit der Gleitlänge

E_{hi} Energieverbrauch pro Rauheitselement i

E_h Summe der Energieverbräuche im Inneren des Gummis zufolge Deformation, hervorgerufen durch n Rauheitselemente

Dividiert man die Hysteresekraft F_h durch die vertikale Radlast P, so erhält man den dimensionslosen Hysteresekoeffizienten f_h nach Formel 2-6:

$$f_h = \frac{F_h}{P}$$ **Formel 2-6**

2.2.3 Resultierender Reibungsbeiwert aus Adhäsion und Hysterese

Der Reibungsbeiwert μ wird üblicherweise als dimensionslose Größe angegeben und beschreibt das Verhältnis der Kraft, die dem Gleiten in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn entgegenwirkt, zu der senkrecht auf die Fahrbahnoberfläche gerichteten Radlast. Der resultierende Reibungsbeiwert ergibt sich somit aus der Summe der Adhäsions- und Hysteresekoeffizienten gemäß Formel 2-7 [10]:

$$\mu = f_a + f_h$$ **Formel 2-7**

μ Reibungsbeiwert

f_a Adhäsionskoeffizient

f_h Hysteresekoeffizient

2.3 Einflussfaktoren auf die Fahrbahngriffigkeit

Der in der Kontaktfläche Fahrzeugreifen/Fahrbahnoberfläche aktivierbare Reibungsbeiwert ist von vielen Einflüssen geprägt. Die wesentlichsten Einflussfaktoren können dabei in vier Hauptgruppen eingeteilt werden (siehe Abbildung 2-2):

- Reifen: Bauart, Gummimischung, Profilgestaltung, Luftdruck (siehe Kapitel 2.3.1)
- Fahrbahn: Textur, Baustoffe, Beanspruchung, Jahreszeitliche Schwankungen (siehe Kapitel 2.3.2)
- Fahrzeug: Bewegungszustände Geschwindigkeit und Schlupf (siehe Kapitel 2.3.3)
- Zwischenmedium: Wasser, Wasserfilmdicke, Wassertemperatur (siehe Kapitel 2.3.4)

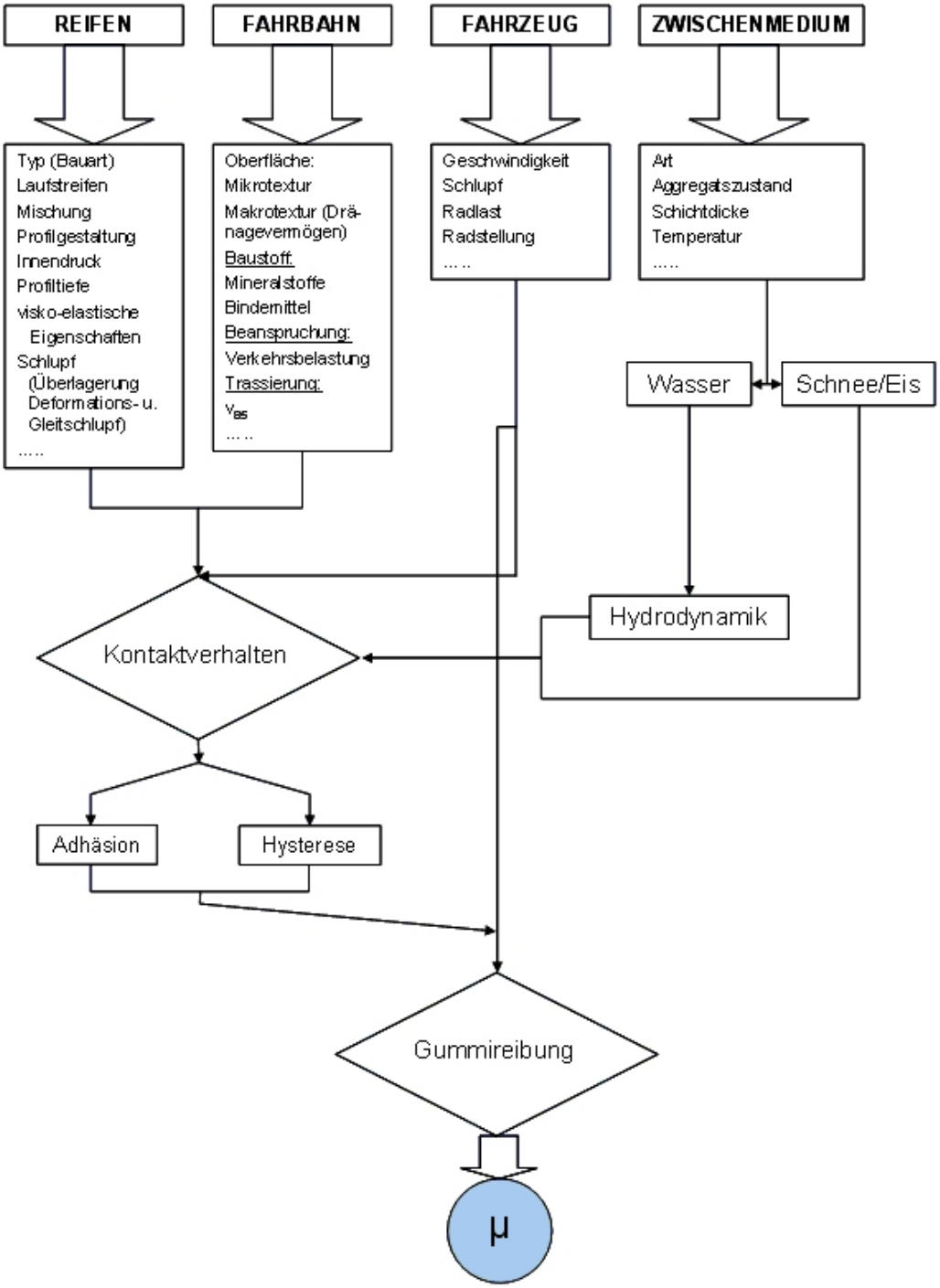


Abbildung 2-2: Einflussfaktoren auf die Fahrbahngriffigkeit [14] erweitert nach [15]

Da mit modernen dynamischen Griffigkeitsmesssystemen der Reibungsmechanismus zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahnoberfläche realitätsnah simuliert werden soll, werden die messbaren Reibungsbeiwerte ebenfalls durch dieselben Einflussfaktoren beeinflusst. Auf der einen Seite stehen dabei die Einflüsse des Reifens und des Fahrzeuges welche vom eingesetzten Griffigkeitsmesssystem bzw. Messverfahren abhängen. Da standardmäßig die Griffigkeit bei Nässe ermittelt wird, wird auch das Zwischenmedium vom

Messverfahren vorgegeben, außer es wird der aktuelle Straßenzustand bei Schnee oder Eis ohne eine künstliche Bewässerung ermittelt. Von der straßenbautechnischen Seite können diese Faktoren also nicht beeinflusst werden.

Auf der anderen Seite stehen die Einflüsse der Fahrbahn, die durch entsprechende straßenbautechnische Maßnahmen gesteuert werden können. Etwa durch die Wahl einer entsprechenden Textur, die Optimierung der Mischgutzusammensetzung, die Verwendung polierresistenter Gesteinsmaterialien oder die Wahl der Trassierungselemente.

Da die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Faktoren sehr komplex sind, kann deren Einfluss auf den aktivierbaren bzw. gemessenen Reibungsbeiwert je nach Situation unterschiedlich stark ausgeprägt sein. In den nachfolgenden Kapiteln werden die wesentlichsten Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf die Griffigkeit erläutert.

2.3.1 Reifen

Der Reifen eines Kraftfahrzeuges muss eine Vielzahl von sich teilweise widersprechenden Anforderungen erfüllen [16]:

- Großer Fahrkomfort
- Ausreichende Tragfähigkeit
- Eignung für hohe Geschwindigkeiten
- Gute Haftung auf trockenen und nassen Fahrbahnen
- Geringer Rollwiderstand
- Geringer Abrieb
- Geringe Geräuschentwicklung

Die Reifenhersteller müssen daher einen Kompromiss zwischen geringem Rollwiderstand und hohem Haftungsvermögen sowie einer langen Lebensdauer eingehen. Die Reibungseigenschaften auf nassen Fahrbahnen können daher für den Gebrauchswert eines Reifens nicht alleine maßgebend sein [16]. Nachfolgend werden die wesentlichsten reifenspezifischen Einflussfaktoren auf den aktivierbaren Reibungsbeiwert kurz erläutert.

<u>Bauart</u>

Die Bauart der Karkasse (Unterbau), diagonal oder radial, erweist sich für das tangentiale Reibungsverhalten als vernachlässigbar, sofern die Gummimischung und die Laufflächenprofile identisch sind. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Laufflächenprofile grundsätzlich karkassenspezifisch gestaltet werden. Das typische „offene“ Profil des Radialreifens, welches die Ausbildung von Querrillen ermöglicht, wird beim Diagonalreifen nicht angewandt, weil es bei den größeren Verformungen des Diagonalreifens zu einem wesentlich größeren Reifenverschleiß führen würde [16]. Seit Ende der 1980-er Jahre werden für Pkw nur mehr Radialreifen gefertigt, Diagonalreifen sind heute fast nur noch bei Landwirtschaftsfahrzeugen, Oldtimern und älteren Motorrädern üblich.

Gummimischung

Bei der Gummimischung sind zwei Materialeigenschaften von besonderer Bedeutung, nämlich einerseits die Härte des Gummis und andererseits das Deformationsverhalten, auch Hysterese genannt (siehe Kapitel 2.2.2). Reifen mit großem Hysteresevermögen und geringer Härte führen zu größeren Reibungsbeiwerten bei Nässe, allerdings neigen diese Mischungen gleichzeitig zu einem stärkeren Verschleiß [16].

Profilgestaltung

Das Profil des Reifens ist in der Regel für die Drainage des Wassers in der Reifenaufstandsfläche, insbesondere auf Fahrbahnoberflächen mit geschlossenen Texturen, maßgebend. Die Profile der neuzeitlichen Radialreifen bestehen größtenteils aus einigen gezackten 4 mm bis 8 mm breiten Längsrillen, die miteinander durch Querrillen verbunden sein können. Die Querrillen können aber auch innerhalb der Rippen zwischen den Längsrillen enden. In den von Längs- und Querrillen begrenzten Blöcken werden zusätzlich Lamellenschnitte angebracht. Die eigentliche Wasserverdrängung erfolgt durch die Längsrillen und somit in Fahrtrichtung, den Querrillen kommt dabei nur eine unterstützende Funktion zu. Die Lamellenschnitte haben auf die Verdrängung des Wassers und damit auf das Reibungsverhalten bei Nässe keinen Einfluss, ausgenommen bei extrem glatten und geschlossenen Fahrbahnoberflächen infolge des Wischeffektes. Je größer das Volumen der Rillen ist, desto mehr Wasser kann der Reifen kurzfristig aufnehmen bzw. aus der Reifenaufstandsfläche abführen [16].

Innendruck

Die Größe der Reifenaufstandsfläche und damit das gegebenenfalls zu verdrängende Wasservolumen hängen vom Reifeninnendruck ab. Je größer der Innendruck ist, desto kleiner wird die Reifenaufstandsfläche. Durch eine kleinere Aufstandsfläche reduzieren sich die Größe der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn und somit auch der Kraftschluss. Weiters ist zu berücksichtigen, dass sich mit einem abnehmenden Reifeninnendruck der Reifen leichter verformen kann. Dadurch kommt es zu einer „Schließung“ der Rillen und somit zu einer Verschlechterung des Drainagevermögens. Gleichzeitig vergrößert sich dadurch aber wieder die Reifenaufstandsfläche [16].

Messreifen für Griffigkeitsmessungen

Für Griffigkeitsmessungen, werden nur mehr standardisierte Messreifen eingesetzt, bei denen die Bauart, die Gummimischung, die Profilgestaltung und der Innendruck genau definiert sind. Dabei haben sich Messreifen ohne Profil oder mit Längsrillen gemäß den Standards der Permanent International Association of Road Congresses (PIARC) und American Society for Testing and Materials (ASTM) durchgesetzt. Vergleichsmessungen von arsenal research [17] mit handelsüblichen Pkw-Reifen zeigten, dass der gerillte PIARC-Messreifen die untere Grenze der erreichbaren Reibungsbeiwerte der handelsüblichen Pkw-Reifen bildet und ein glatter Messreifen weitaus niedrigere Werte liefert.

2.3.2 Fahrbahn

Der Einflussfaktor Fahrbahn kann durch entsprechende straßenbautechnische Maßnahmen, wie etwa durch die Wahl einer entsprechenden Textur, der Optimierung der Gesteinszusammensetzung, der Polierresistenz des Gesteinsmaterials oder durch die Wahl entsprechender Trassierungselemente gesteuert werden. Die Textur der Fahrbahnoberfläche und die verwendeten Gesteine in der Deckschicht haben dabei einen wesentlichen Einfluss auf die Griffigkeit und deren Dauerhaftigkeit [15].

Textur

Hinsichtlich der Textur ist vor allem die Wirkung der Mikrotextur und der Makrotextur für das Niveau der Griffigkeit verantwortlich. Aufgabe der Mikrotextur ist es, einen eventuell vorhandenen dünnen Wasserfilm zu durchbrechen und dadurch einen trockenen Kontakt zum Reifen herzustellen. Die Makrotextur ist durch eine grobporige Oberfläche gekennzeichnet und unterstützt durch ihre Drainagewirkung das Abführen des Wassers aus der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn.

Geht man vom Idealfall einer trockenen Fahrbahn aus, dann zeigt sich, dass die Reibungsbeiwerte unabhängig von den Textureigenschaften sehr hoch und praktisch unabhängig von der Geschwindigkeit sind. Erst im Falle einer nassen Fahrbahn beeinflussen die Mikro- und Makrotextur das Niveau der Fahrbahngriffigkeit (siehe Abbildung 2-3) [18].

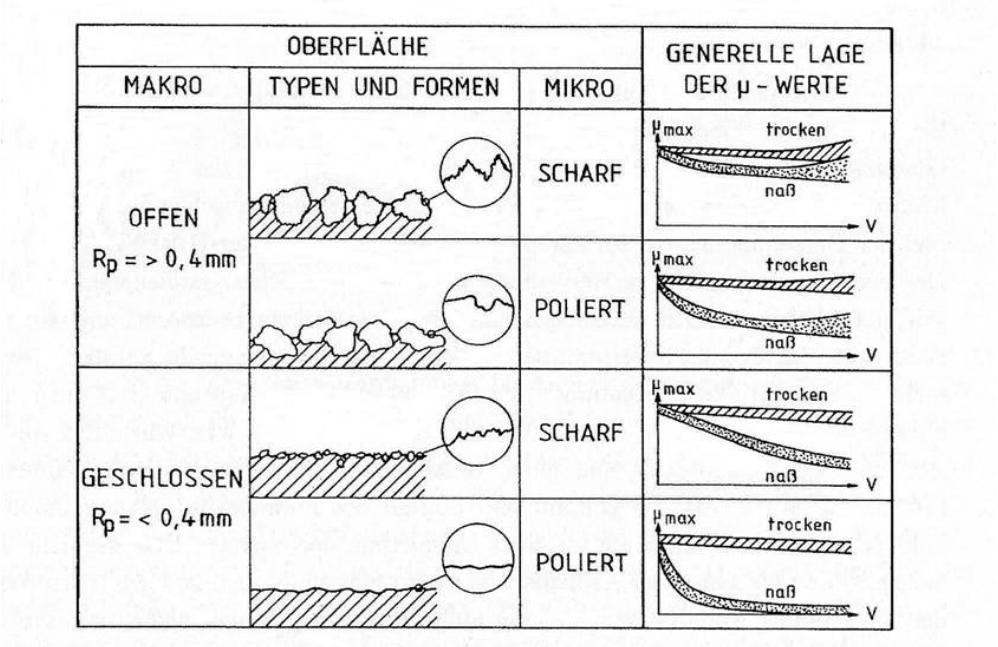


Abbildung 2-3: Auswirkung der Struktur der Oberfläche auf den Reibungsbeiwert [18]

Die Mikro- und Makrotextur sind voneinander unabhängig und können in beliebigen Kombinationen auftreten. *Schulze* [19] beschreibt anhand von Modelloberflächen Reibungsbeiwert-Geschwindigkeits-Kurven bei Nässe, in Abhängigkeit von neun verschiedenen Kombinationen von Mikro- und Makrotextur (siehe Abbildung 2-4).

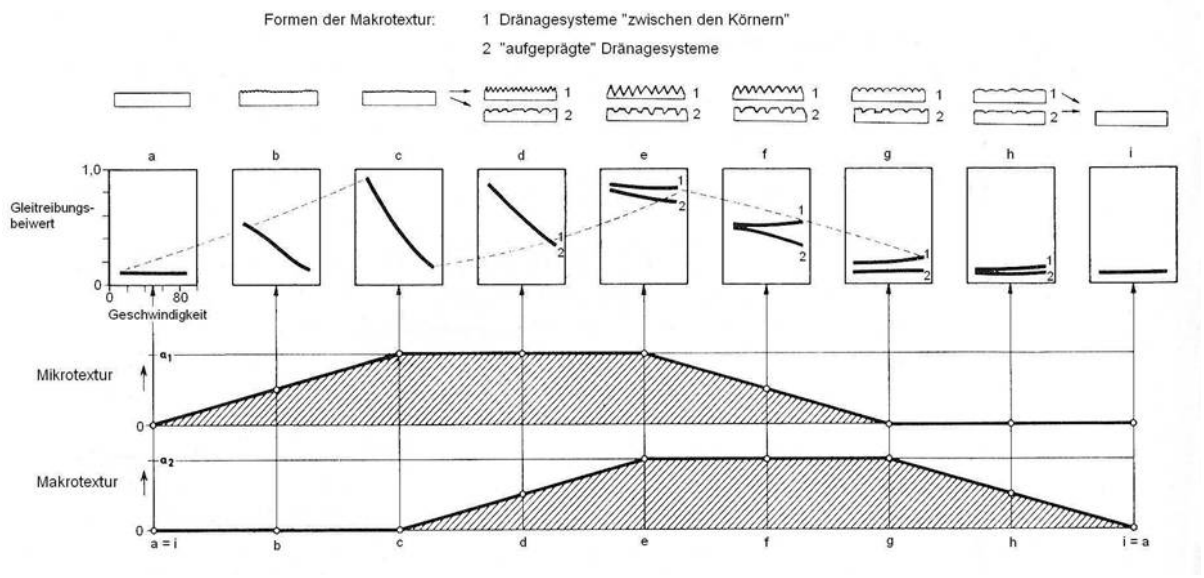


Abbildung 2-4: Randtypen der Oberflächenfeingestalt und ihre Wirkung auf den Gleitreibungsbeiwert bei Nässe [19]

Der Einfluss der Textur auf die Griffigkeit von nassen Fahrbahnoberflächen lässt sich anhand der Literatur [12] [15] [18] [19] [20] wie folgt zusammenfassen:

- Bei geringen Geschwindigkeiten (< 50 km/h) hängt der Reibungsbeiwert maßgeblich von der Mikrotextur (Grad der Schärfe der Gesteinsoberfläche) ab und ist weitestgehend unabhängig von der Makrotextur (Dränagevermögen).
- Bei höheren Geschwindigkeiten (um 80 km/h) hängt der Reibungsbeiwert stärker von der Makrotextur ab, jedoch in Abhängigkeit von der Mikrotextur. Ein gutes Drainagevermögen der Fahrbahnoberfläche hilft das Wasser abzuführen, sodass die Schärfe der Gesteinsoberflächen wirken kann.
- Für das Erreichen einer guten Griffigkeit bei Nässe und höheren Geschwindigkeiten ist sowohl eine gute Ausbildung der Mikro- als auch der Makrotextur eine grundlegende Voraussetzung. Eine gute Makrotextur ist nutzlos, wenn die entsprechende Mikrotextur nicht vorhanden ist.

Während Griffigkeitsmessungen werden zusätzlich oft auch Texturmessungen durchgeführt, welche aber nur die Makrotextur erfassen. Aufgrund des gezeigten Zusammenspiels von Mikro- und Makrotextur ist es bis heute nicht möglich, eine eindeutige Abhängigkeit der Reibungsbeiwerte nur von Makrotexturwerten nachzuweisen (siehe auch Kapitel 7.2).

Baustoffe

Zur Erreichung einer guten Griffigkeit und zu deren längerfristiger Erhaltung unter Verkehrseinwirkung sind die physikalischen Eigenschaften der im Deckschichtbau verwendeten Gesteine maßgebend. Neben der Härte der einzelnen Minerale, der Verbandsfestigkeit, Oberflächenrauheit, Kantigkeit, Kornform, Korngröße und Kornverteilung hat vor allem das Polierverhalten starke

Auswirkungen auf das Langzeitgriffigkeitsverhalten [21] [22]. Die Art der Veränderung und die damit verbundenen Auswirkungen unterscheiden sich allerdings je nach Bauweise der Deckschicht – Asphalt oder Beton [15].

Die heutigen Deckschichten bestehen zu einem großen Teil aus Splitt (gebrochenes Korn $>$ 2 mm). Daher muss man diesem Baustoff hinsichtlich der Straßengriffigkeit die größte Bedeutung zumessen [22]. Bei neu hergestellten Asphaltdeckschichten sind die Splitte vor Verkehrsfreigabe noch mit Bindemittel überzogen. Nach einer von der Verkehrsbeanspruchung und der Witterung abhängigen Einfahrzeit besteht die Fahrbahnoberfläche dann hauptsächlich aus bindemittelfreien Gesteinsflächen [23]. Während die polierende Wirkung der Reifen die Mikrotextur verändert, führt ein ungleichmäßiger Verschleiß zwischen den Splittkörnern und der Bindemittelmatrix zu Veränderungen der Makrotextur [22]. Nach der Herstellung bestimmt zunächst die mit Bindemittel angereicherte Oberfläche die Griffigkeit. Flächenhafte Bindemittelanreicherungen wirken sich stets negativ auf die Griffigkeit aus. Verkehr und Witterung entfernen den Bindemittelfilm auf den Gesteinskörnern an der Oberfläche und das herausragende Splittkorn bestimmt immer mehr die Griffigkeit [15] [24]. Die Bedeutung der Splittkomponente wird, wenn keine Abstreuung zur Verbesserung der Anfangsgriffigkeit vorgenommen wird, also erst einige Monate nach der Verkehrsübergabe relevant [25].

Bei Betondecken (ausgenommen Waschbeton) verhält sich die Entwicklung der Griffigkeit etwas anders. Durch die vibrierende Verdichtung beim Einbau, bildet sich an der Oberfläche der Betondecke eine etwa 1,5 mm dicke Mörtelschicht aus (siehe Abbildung 2-5). Die oberflächennahen Zonen durchlaufen mit der Zeit unter Einfluss von Witterung und Verkehr dann folgende Griffigkeitsphasen [26]:

- Phase 1: Anfangsgriffigkeit nach Herstellung und ausreichender Erhärtung.
- Phase 2: Griffigkeit, welche durch den Verkehr und die Witterung bis zu einem ersten Beharrungszustand erzeugt wird.
- Phase 3: Griffigkeit schwankt längere Zeit unregelmäßig um einen Mittelwert, welcher im Wesentlichen von der Zusammensetzung des Oberflächenmörtels abhängt.
- Phase 4: Dauergriffigkeit, für die die groben Zuschläge des Betons ausschlaggebend sind.

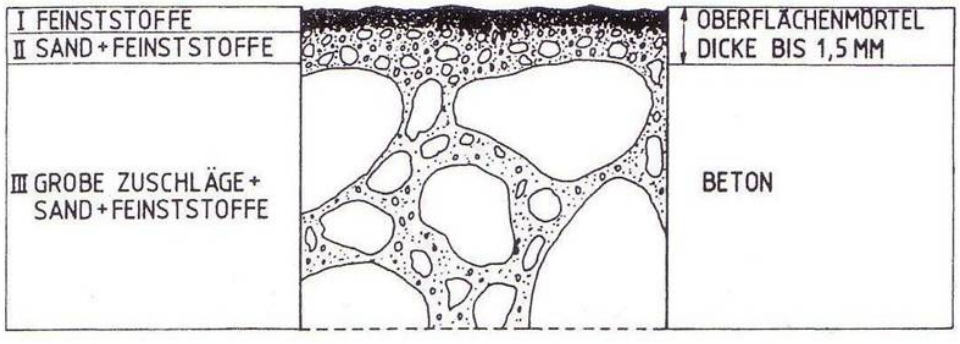


Abbildung 2-5: Oberflächennahe Zonen einer Betondecke [26]

Um das Problem der geringen Anfangsgriffigkeit in den Phasen 1 bis 3 zu bewältigen, wurden daher Maßnahmen (z.B. Besenstrich, Jutetuch) zur Erzeugung einer Oberflächenstruktur durchgeführt. In Österreich werden auf dem höherrangigen Straßennetz seit 1990 vorwiegend Waschbetondecken zur Bildung der Oberflächenstruktur ausgeführt [27]. Dadurch herrscht, durch Ausbürsten der Feinanteile, bereits bei der Verkehrsübergabe die Phase 4.

Beanspruchung

Für den Verlust der Mikrotextur der Gesteinsoberflächen ist vor allem der Verkehr verantwortlich. Der Poliervorgang ist besonders stark, wo sich die Fahrzeugreifen mit erhöhtem Schlupf bewegen, nämlich auf Brems- und Beschleunigungsstrecken sowie bei relativ kleinen Kurvenradien [28]. Durch die Reifen der Kraftfahrzeuge werden die Mineralspitzen abgebrochen, was zu einer Glättung der Gesteinsoberfläche führt. Die Splitte werden aber nicht im gleichen Maße poliert. Der unterschiedliche Polierwiderstand hängt hauptsächlich vom mineralogisch-petrographischen Aufbau des Splittkornes ab. Ganz allgemein erfahren Karbonate eine flächenhafte Politur, verschleißfeste Silikate dagegen meist nur eine Politur ihrer herausragenden Spitzen. Auf Deckschichten mit sowohl silikatischem als auch karbonatischem Material ist der Poliereffekt an den Karbonaten wesentlich stärker als auf Decken, die nur mit karbonatischem Material aufgebaut wurden [23]. Bei starker Poliereinwirkung durch den Verkehr kann die Griffigkeit auf ein Niveau absinken, welches maßgeblich vom Polierwiderstand der Gesteinskörnungen abhängt. Jedoch kann bei geringem Verkehr die aufrauende Wirkung durch die Witterung größer sein als die polierende Wirkung des Verkehrs [24].

Fahrbahnoberflächen, die der Witterung ausgesetzt sind, erfahren eine stetige Verbesserung der Griffigkeit, die sich asymptotisch einem oberen Grenzwert nähert. Der Verkehr baut hingegen durch die polierende Wirkung der Fahrzeugreifen laufend Griffigkeit ab. Durch diese beiden Effekte kann ein dynamisches Gleichgewicht des Griffigkeitsniveaus entstehen [29]. Die Verbesserung der Griffigkeit wird im Wesentlichen auf den Regen zurückgeführt, wobei das Regenwasser durch zwei Effekte Einfluss auf die Oberflächetextur nimmt. Erstens wird die Fahrbahnoberfläche von Staub- und Schmutzpartikel gereinigt, sodass die Mikrotextur wieder zum Vorschein kommt. Zweitens kommt es bei kalksteinhaltigen Deckschichten infolge des sauren Wassers zur Bildung von löslichem Bikarbonat, wodurch die Griffigkeit erhöht wird (Kohlensäureverwitterung) [30].

Bei bituminösen Deckschichten wird während des Sommers durch die Sonne der Belag erwärmt, und unter der Verkehrsbelastung können die herausragenden Splittkörner in den Belag hineingedrückt werden. Durch diese Mastixanreicherung und das Verschließen der Oberflächenporen kann es zur Verminderung der Makrotextur kommen [31].

Neben der Anzahl der Fahrzeuge hat auch deren Gewicht einen entscheidenden Einfluss auf die Griffigkeit. Durch die höheren Achslasten ist die Polierwirkung eines Lkw um ein Vielfaches höher als jene eines Pkw [23]. Daher sollten auf mehrstreifigen Fahrbahnen die Griffigkeitsmessungen in der Rollspur des

rechten äußeren Fahrstreifens durchgeführt werden, um den maßgebenden niedrigsten Wert zu erfassen.

Jahreszeitliche Schwankungen der Fahrbahngriffigkeit

Der Einfluss der Jahreszeit kann sich zum Teil deutlich auf die messbaren Reibungsbeiwerte auswirken. Bereits *Wehner* [32] ermittelte durch Langzeitbeobachtungen, dass die Griffigkeit im trockenen Sommer eher abnimmt, während in den feuchten Wintermonaten eine Griffigkeitsverbesserung zu verzeichnen ist.

In Abbildung 2-6 ist die Schwankungsbreite der Griffigkeit über ein Kalenderjahr dargestellt. Der angeführte Griffigkeitsverlauf ist den englischen Vorschriften über Straßengriffigkeit [33] entnommen und zeigt in idealisierter Form die Jahresschwankung der Griffigkeitswerte des Messsystems SCRIM (siehe Kapitel 3.5.2). Die höheren Griffigkeitswerte im Winter sind dabei auf die niedrigeren Temperaturen und die längeren Regenperioden zurückzuführen, während die höheren Temperaturen und die längeren Trockenperioden des Sommers den entgegen gesetzten Effekt bewirken. In Großbritannien wird daher als Basis für die nationalen Griffigkeitsanforderungen der „mittlere Sommerwert“ aus drei Messungen herangezogen. *Huschek* [28] führt an, dass bauweisenbedingt diese Schwankungen in Deutschland vermutlich nicht ganz so ausgeprägt sind, jedoch trotzdem berücksichtigt werden müssen. Allerdings berücksichtigt der dargestellte Verlauf, nicht die Beanspruchung durch Spike-Reifen oder Schneeketten im Winter, welche z.B. in Österreich eingesetzt werden.

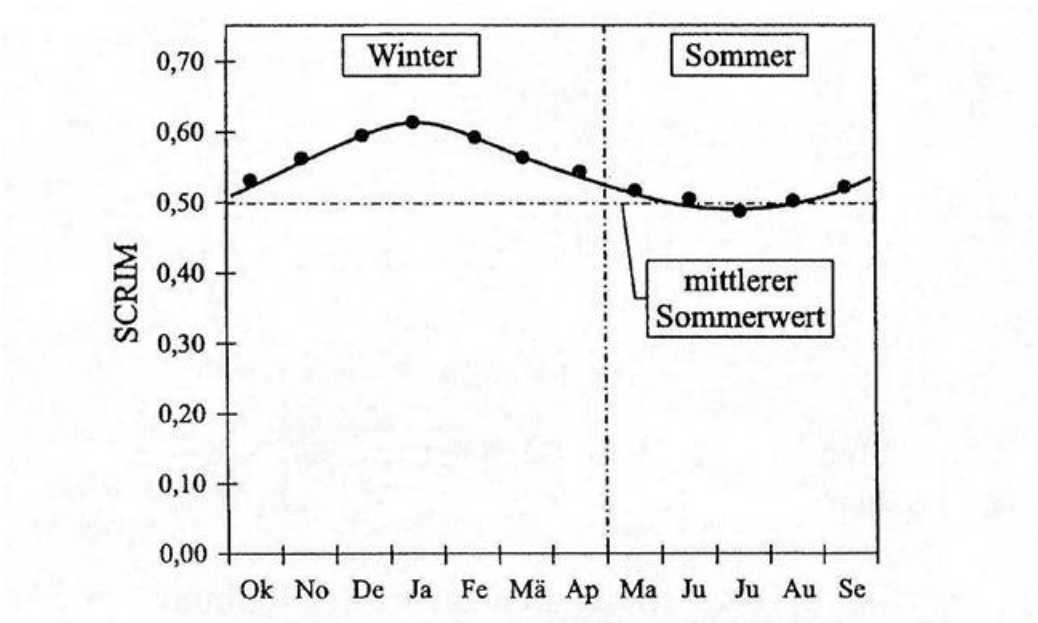


Abbildung 2-6: Jahreszeitliche Schwankungen der Griffigkeit [28] [33]

Um die jahreszeitlichen Einflüsse möglichst gering zu halten, sollten Griffigkeitsmessungen daher nur in der Zeit von April bis Oktober durchgeführt werden. Weiters ist für eine richtige Interpretation von Griffigkeitsmessergebnissen wichtig, Deckschichttyp und Deckschichtalter, Gesteinszusammensetzung und

regionale Besonderheiten (z.B. Verkehr, Witterungsverhältnisse) mit zu berücksichtigen.

2.3.3 Bewegungszustände des Fahrzeuges

Geschwindigkeit

Aus zahlreichen Messungen und Untersuchungen geht hervor, dass der Reibungsbeiwert auf trockenen Fahrbahnoberflächen weitgehend unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit ist (siehe Abbildung 2-3). Die erreichbaren Reibungsbeiwerte verlaufen in einem Geschwindigkeitsbereich von 40 km/h bis 100 km/h annähernd konstant auf einem sehr hohen Griffigkeitsniveau [34].

Auf nassen Fahrbahnoberflächen nimmt der Reibungsbeiwert bei einer Geschwindigkeitssteigerung generell ab (siehe Abbildung 2-8). Die Stärke der Abnahme ist dabei hauptsächlich von der Fahrbahnoberfläche, dem Bewegungszustand des Rades und der vorhandenen Wassermenge abhängig (siehe Abbildung 2-3). Der Abfall des Reibungsbeiwertes verläuft bei geschlossenen, feinkörnigen Texturen steiler als bei offenen, gröberen Belägen. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit wird es für den Reifen immer schwerer, den Kontakt mit der Fahrbahnoberfläche herzustellen, da sich die verbleibende Zeit zur Abführung des Wassers stark reduziert. Das bedeutet, dass der Reibungsbeiwert erst bei einem vorhandenen Zwischenmedium wie z.B. Wasser eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Geschwindigkeit aufweist [32].

Um den Einfluss der Geschwindigkeit bei Griffigkeitsmessungen ausschalten zu können, werden diese in der Regel immer mit einer konstanten Messgeschwindigkeit durchgeführt. Fallweise ist dies aber nicht möglich, dann muss versucht werden, den Geschwindigkeitseinfluss zu erfassen und durch Umrechnung oder Korrekturen zu berücksichtigen (siehe Kapitel 7.1).

Schlupf

Neben der Geschwindigkeit hat auch der Bewegungszustand des Rades einen erheblichen Einfluss auf den aktivierbaren Kraftschluss. Der Schlupf setzt sich aus Deformationsschlupf, hervorgerufen durch Verzerrungen und Verschiebungen der Reifenlauffläche gegen die Radfelge und Gleitschlupf zusammen. Gleitschlupf entsteht, da jedes Flächenelement der Reifenaufstandsfläche während seiner Verweildauer auf der Fahrbahnoberfläche mit geringer Geschwindigkeit gleitet [31].

Der Schlupf kann Werte zwischen 0 % und 100 % annehmen (siehe Formel 2-1 und Abbildung 2-7). Mit zunehmendem Schlupf wächst der Reibungsbeiwert zunächst linear an, was vor allem auf die Längssteifigkeit des Reifens zurückzuführen ist. In diesem Bereich dominiert der Deformationsschlupfanteil am Gesamtschlupf. Noch vor Erreichen des Maximums kommen bereits Gleitanteile hinzu, die bei weiter steigendem Schlupf immer größer werden und somit für den Abfall der Kurve nach dem Maximum verantwortlich sind. Bei weiterer Steigerung der Brems- bzw. der Antriebskraft tritt Gleiten oder Blockieren des Rades auf, damit sinkt der Reibungsbeiwert erheblich ab. [35].

Der maximal aktivierbare Reibungsbeiwert hängt vom Schlupf und vom Zustand der Fahrbahnoberfläche ab. Bei trockener Fahrbahnoberfläche liegt das Maximum der Reibungsbeiwerte zwischen ca. 25 % bis 30 % und erreicht auch bei 100 % Schlupf (blockiertes Rad) noch sehr hohe Werte. Auf einer nassen Fahrbahnoberfläche wird das Maximum der Reibungsbeiwerte zwischen ca. 12 % bis 20 % Schlupf erreicht und fällt mit zunehmendem Schlupf ab [36].

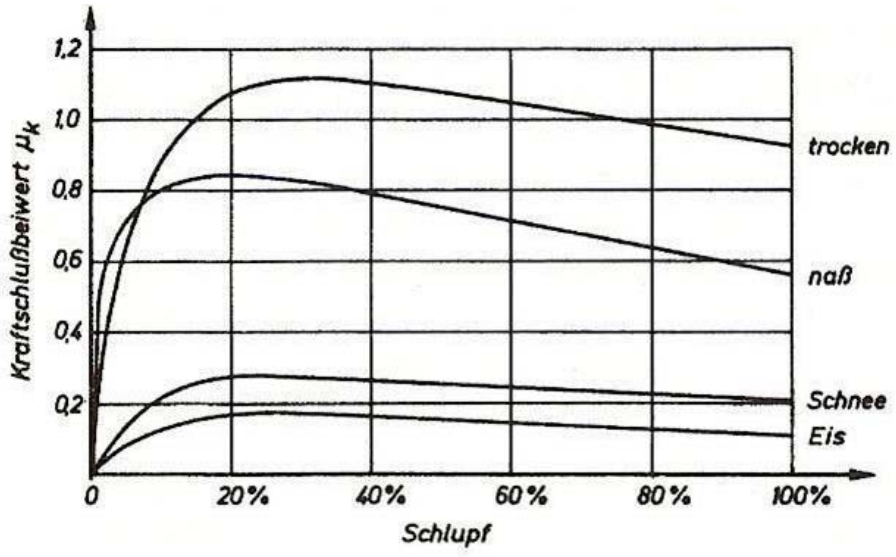


Abbildung 2-7: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes vom Schlupf bei unterschiedlichen Zwischenmedien [37]

Bei der Durchführung von Griffigkeitsmessungen wird der Schlupfzustand meist vom Messsystem vorgegeben, es gibt nur wenige Griffigkeitsmesssysteme die den Schlupf variieren können.

2.3.4 Zwischenmedium

Auf einer trockenen Fahrbahnoberfläche werden, wie bereits erwähnt, im Regelfall Reibungsbeiwerte auf einem hohen Niveau erreicht, welche nahezu unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit sind. Anders verhält es sich, wenn ein Zwischenmedium in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn auftritt. Das Zwischenmedium ist in der Regel ein Wasserfilm, der den Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche stört und den Reibungsbeiwert in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit verringert. Neben einem vorhandenen Wasserfilm kann aber auch eine verschmutzte Fahrbahn, Schnee oder Eis eine deutliche Reduktion der Reibungsbeiwerte hervorrufen. Generell sind die Reibungsbeiwerte bei Schnee- und Eisglätte sehr niedrig und unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit (siehe Abbildung 2-8) [38].

Da weltweit auf Straßen die Griffigkeitsmessungen auf künstlich angenässten Fahrbahnoberflächen durchgeführt werden, ist vor allem das Zwischenmedium Wasser von Interesse. Nur auf Flugbetriebsflächen werden Griffigkeitsmessungen auch bei Vorhandensein von Schnee und/oder Eis und ohne vorherige Bewässerung

durchgeführt. Dies ist ein Sonderfall und wird im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt.

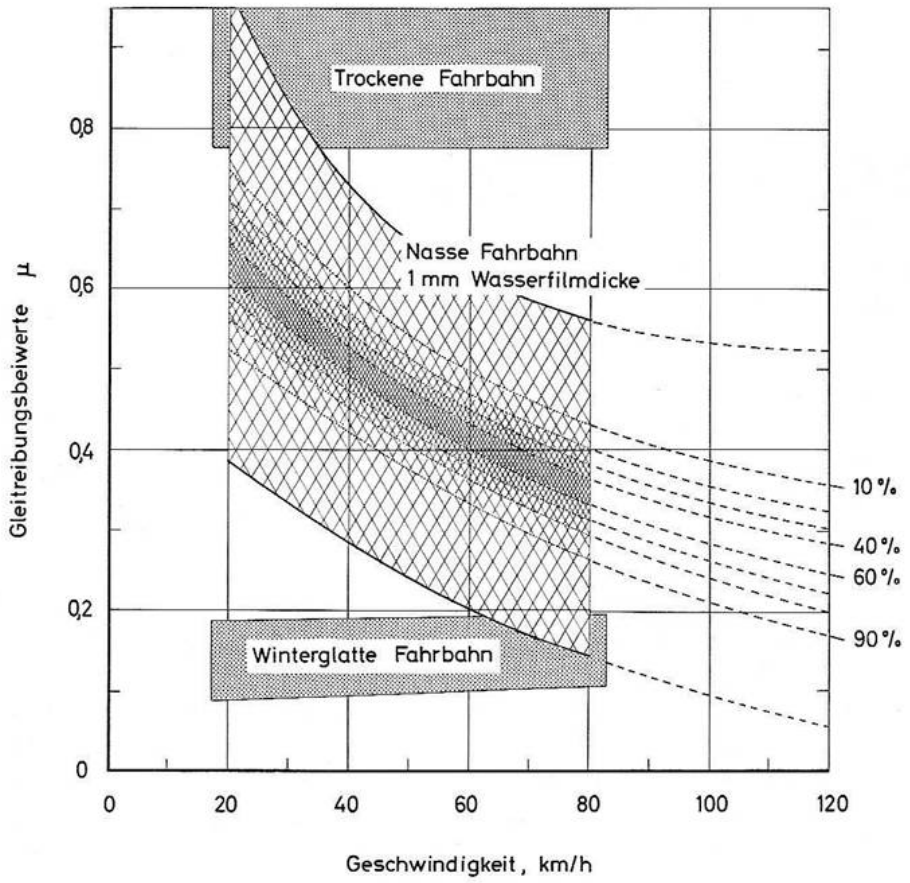


Abbildung 2-8: Variationsbreite und Häufigkeitsverteilung der Gleitreibungsbeiwerte auf trockener, nasser und winterglatter Fahrbahn am blockierten Messrad [38]

Wasser

Um den Einfluss des Wassers auf die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn zu beschreiben, kann das vereinfachte aber brauchbare „3-Zonen-Modell“ herangezogen werden, welches die Reifenaufstandsfläche in drei Bereiche unterteilt (siehe Abbildung 2-9). In Fahrtrichtung vorne liegt die Zone A, in der der Reifen von der Fahrbahn durch eine Wasserschicht getrennt ist, so dass keine Reibungskräfte aktiviert werden können. In der hinteren Zone C ist der Wasserfilm quasi vollständig durchbrochen, so dass zwischen Reifen und zumindest den Schärfepartikeln der Fahrbahnoberfläche Kontakt herrscht. Die mittlere Zone B ist ein Übergangsbereich und eine Mischung der beiden Zonentypen A und C. Die Aktivierung der Reibung erfolgt daher größtenteils in der Zone C und zu einem geringen Teil in der Zone B. Im Grenzfall Aquaplaning erstreckt sich die Zone A auf die gesamte Reifenaufstandsfläche, so dass kein Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn möglich ist [16].

In Abbildung 2-9 wird in Abhängigkeit von der Vorwärtsgeschwindigkeit v zwischen zwei Fällen unterschieden [16]:

Fall a) $v < v_{aq}$: Vorwärtsgeschwindigkeit des Fahrzeuges ist kleiner als die Aquaplaning-Geschwindigkeit, es können sich die drei Zonen A, B und C ausbilden, zwischen Reifen und Fahrbahn kann ein trockener Kontakt des Reifens mit der Fahrbahnoberfläche in Zone C hergestellt werden.

Fall b) $v \geq v_{aq}$: Vorwärtsgeschwindigkeit des Fahrzeuges ist größer als die Aquaplaning-Geschwindigkeit, dadurch vollständige Trennung des Reifens von der Fahrbahn (nur Zone A).

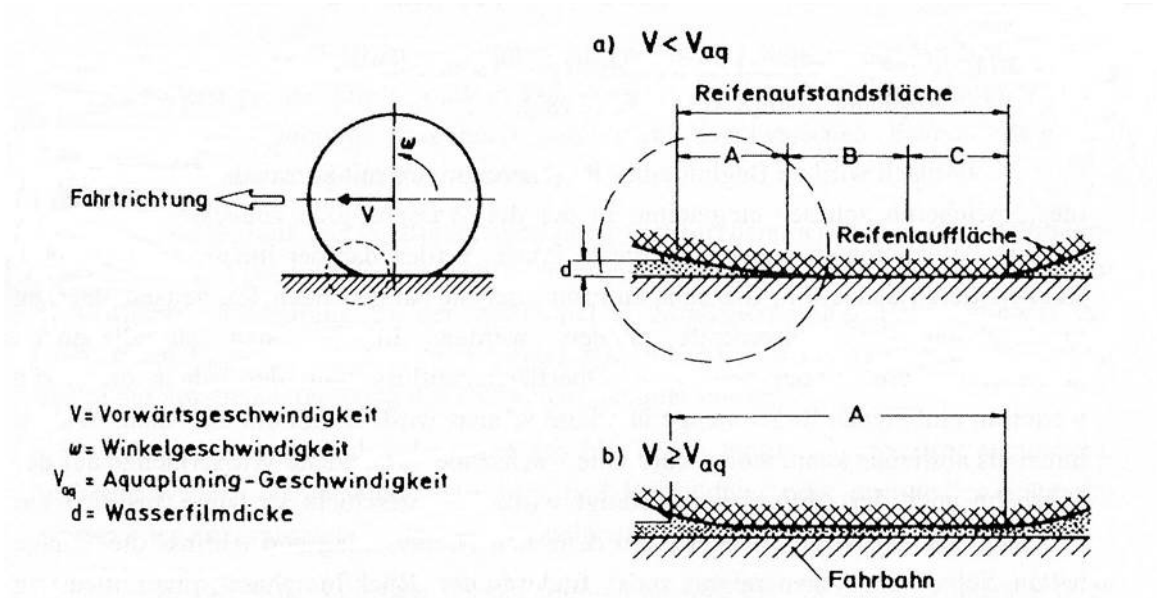


Abbildung 2-9: Reifenaufstandsfläche auf nasser Fahrbahn nach 3-Zonen-Modell [16]

Wasserfilmdicke

Mit dem Auftreten von Wasser auf der Fahrbahnoberfläche ändern sich also die Reibungsverhältnisse grundlegend. Prinzipiell kann festgestellt werden, dass ein vorhandener Wasserfilm in Abhängigkeit von seiner Dicke immer eine Verringerung der Griffigkeit bewirkt [20]. Allerdings stellt sich die Frage, wie man den Nässezustand genau definiert. Hierzu wurden in [39] folgende Unterscheidungen vorgeschlagen:

- Nass: Wasserfilm überdeckt die Rauheitselemente der Fahrbahnoberfläche.
- Naß-Feucht: Wasserspiegel unterhalb der Rauheitsspitzen und nicht durch Oberflächenkräfte gebundenes Wasser in den Rauheitstiefen.
- Feucht: Rauheitselemente sind vollständig mit einem dünnen Wasserfilm überzogen, aber das Wasser ist ausschließlich durch Adhäsion und Kapillarwirkung an der Oberfläche gebunden.
- Partiell-Feucht: Zwischenstadium beim Abtrocknen zwischen feucht und trocken, wenn nebeneinander sowohl trockene wie auch feuchte Zonen vorhanden sind.

- Benetzt: Zwischenstadium bei der Annässung durch Niederschlag bis zur Bildung eines Zusammenhängenden Wasserfilms.
- Trocken: kein Wasser auf der Oberfläche erkennbar.

Für die Durchführung von Griffigkeitsmessungen hat sich zur Beschreibung der Wasserfilmdicke international der Begriff „rechnerische Wasserfilmdicke“ durchgesetzt. Da es auf einer rauen, zufällig strukturierten Oberfläche kein einheitliches Bezugsniveau gibt, wird einfach die aufgebrachte Wassermenge durch die benetzte Oberfläche dividiert. Diese Wasserfilmdicke liefert aber keine konkrete Aussage über den Grad des Nässezustandes, da dieser stark von der Textur der Fahrbahn abhängig ist [17]. Die Annässung, die während der Fahrt durch das Aufbringen des Wassers vor dem Messreifen erzeugt wird, entspricht am ehesten dem Zustand „feucht“ [16].

Bereits sehr dünne Wasserfilme bewirken gegenüber dem trockenen Fahrbahnzustand eine merkliche Änderung der Griffigkeitsverhältnisse. Untersuchungen von arsenal research [40] zeigten bereits ab rechnerischen Wasserfilmdicken von 0,05 mm deutliche Verringerungen der gemessenen Reibungsbeiwerte. Andere Untersuchungen [41] mit Lkw-Reifen zeigten bereits ab Wasserfilmdicken von 0,005 mm eine Abnahme der Umfangskraftbeiwerte beim Bremsen im Vergleich zur trockenen Fahrbahn. Allerdings ist in Abbildung 2-10 auch zu sehen, dass bei Wasserfilmdicken von 0,04 mm bis 1,0 mm keine Unterschiede mehr auftreten.

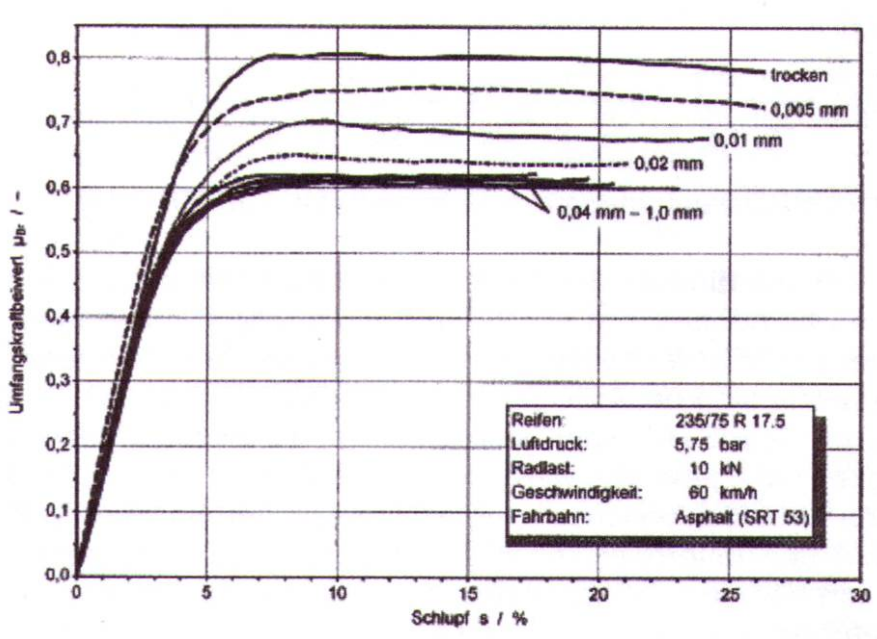


Abbildung 2-10: Umfangskraftbeiwert eines LKW-Reifens beim Bremsen bei verschiedenen Nässezuständen [41]

Weiters konnte in [16] festgestellt werden, dass der Einfluss der Wasserfilmdicke bei geringen Geschwindigkeiten < 30 km/h praktisch keine Auswirkung hat, aber bei größeren Geschwindigkeiten die Reibungsbeiwerte mit

zunehmender Wasserfilmdicke abnehmen. Bei neuen Reifen wird erst ab Geschwindigkeiten von 100 km/h und Wasserfilmdicken ab 5 mm der Zustand Aquaplaning erreicht (siehe Abbildung 2-11).

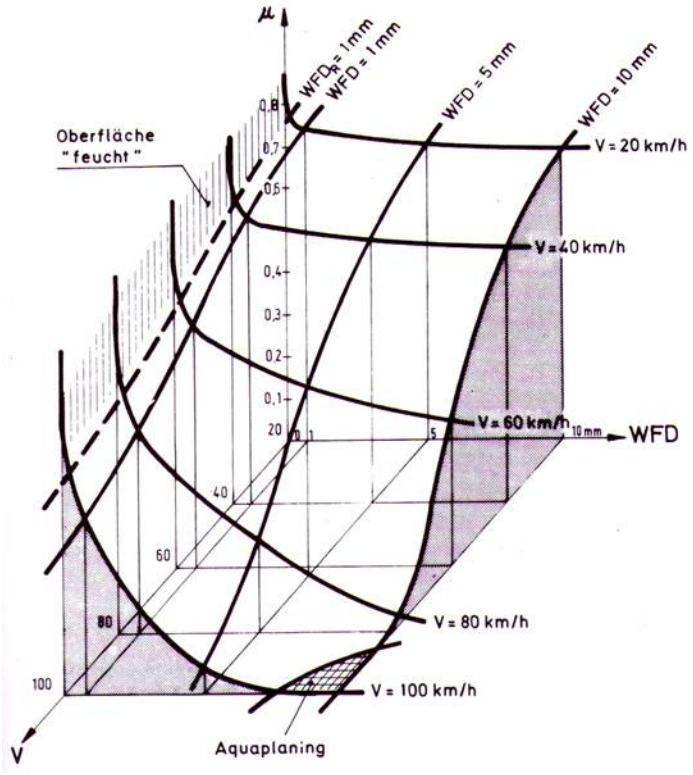


Abbildung 2-11: Zusammenhang Wasserfilmdicke, Geschwindigkeit und Reibungsbeiwert bei 19 % Schlupf für neue Reifen [16]

Griffigkeitsmessungen werden je nach eingesetztem Messsystem großteils mit rechnerischen Wasserfilmdicken von 0,5 mm oder 1,0 mm und mit Geschwindigkeiten weit unter 100 km/h durchgeführt. Somit kann der Grenzzustand Aquaplaning ausgeschlossen werden.

Wassertemperatur

Um den Einfluss der Wassertemperatur zu erfassen, wurden in Deutschland bereits Untersuchungen [42] mit dem Griffigkeitsmesssystem SKM (siehe Kapitel 3.5.2) durchgeführt. Hierbei erfolgten die Griffigkeitsmessungen mit normalen Wassertemperaturen von 15 °C und auch mit auf 50 °C aufgeheiztem Wasser. Während der Messfahrt wurde auf kurzen Abschnitten nur das 50 °C heiße Wasser aus einem separaten Tank verwendet (siehe Abbildung 2-12). Wie zu sehen ist, verändern sich auf den Abschnitten mit heißem Wasser die Reibungsbeiwerte deutlich nach unten. Anhand dieser Erkenntnisse wurde im Jahr 2007 für das Griffigkeitsmesssystem SKM in der TP Griff (SKM) [43] bereits ein Korrekturfaktor von ±0,002/°C bezogen auf eine Wassertemperatur von 20 °C festgelegt.

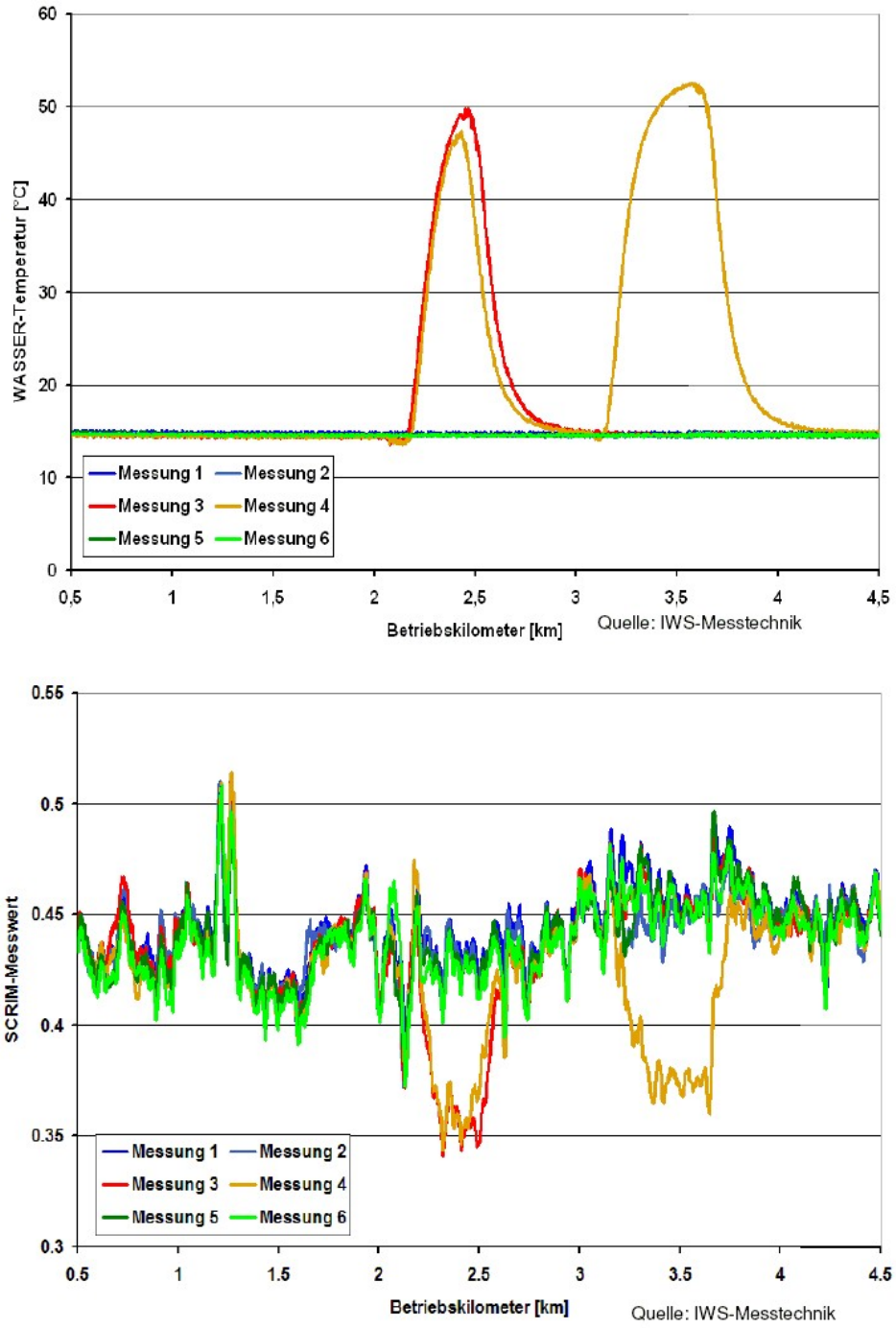


Abbildung 2-12: Steuerung des Wasserzulaufes mit verschiedenen Wassertemperaturen und Auswirkung auf das SKM Messergebnis [42]

Darauf hin wurden von der Ruhr-Universität Bochum mit einem GripTester (siehe Kapitel 3.4) ebenfalls Versuche durchgeführt um den Einfluss der Wassertemperatur zu erfassen [44]. Auf einer 2 km langen Strecke wurden Griffigkeitsmessungen mit den Wassertemperaturen 15 °C, 30 °C und 50 °C ausgeführt. Da Wassertemperaturen von 50 °C für den praktischen Einsatz aber als nicht realistisch angesehen werden, wurden in Abbildung 2-13 nur die Reibungsbeiwerte der 100-m-Abschnitte bei 15 °C und 30 °C gegenübergestellt.

Anhand dieser ersten Ergebnisse konnte auch hier ein Wassertemperatureinfluss in einer ähnlichen Größenordnung wie beim SKM festgestellt werden.

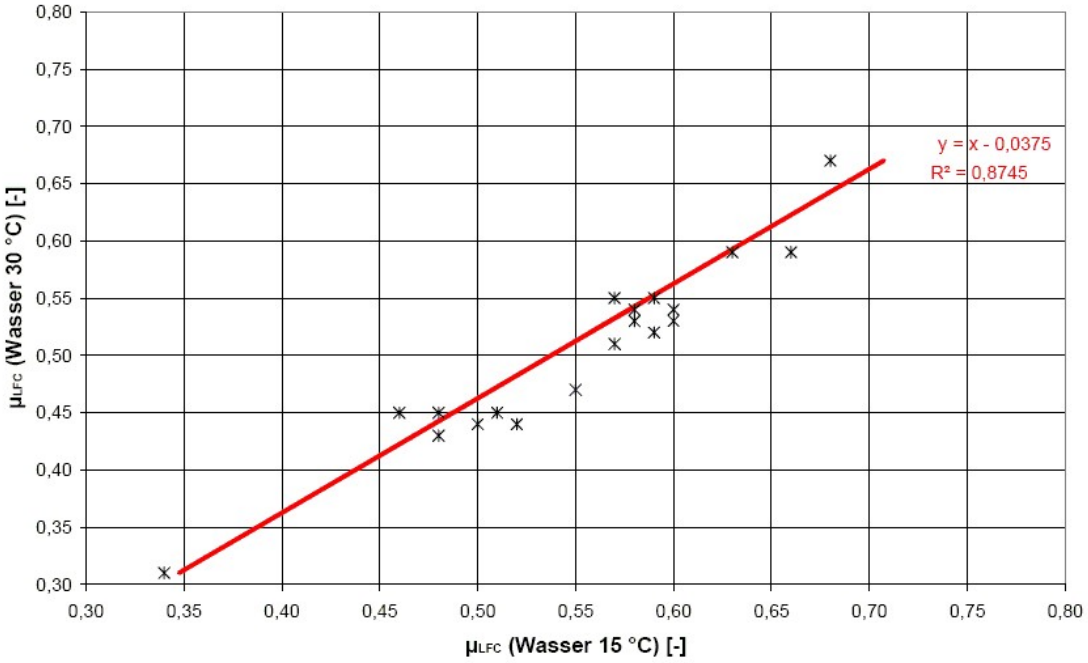


Abbildung 2-13: Korrelation der Reibungsbeiwerte bei Wassertemperaturen von 15 °C und 30 °C [44]

Bei Griffigkeitsmessungen ist also durchaus ein Einfluss der Wassertemperatur auf den gemessenen Reibungsbeiwert feststellbar. Diesem Einfluss wird aber durch Begrenzung des zulässigen Temperaturbereiches für das Wasser von 5 °C bis 25 °C (siehe Kapitel 5) entgegengewirkt. Da in Österreich die Wassertemperaturen in der Messsaison (April bis November) bei Hydrantenentnahmen im Bereich von 10 °C bis 20 °C liegen, erscheint eine zusätzliche Korrektur auf Grund des Wassertemperatureinflusses aber hinfällig. Allerdings muss man beachten, dass sich das Wasser in den kleinen Tanks (≤ 500 l) des Griffigkeitsmesssytems GripTrester an heißen Sommertagen erwärmen kann, wenn man das Fahrzeug länger stehen lässt. Um dies zu vermeiden, sollte man daher die Wassertanks immer erst kurz vor Messbeginn frisch befüllen.

3 Griffigkeitsmesssysteme

Griffigkeitsmessungen auf Straßenoberflächen haben weltweit schon eine sehr lange Tradition. Es wurden die verschiedensten Verfahren entwickelt, um einen Kennwert für die Griffigkeit unter praxisgerechten Bedingungen zu erhalten.

Bereits im Jahr 1928 wurden in Berlin zur Bestimmung der Straßengriffigkeit Bremsversuche mit Kraftwagen durch *Schenk* [45] durchgeführt. In den USA wurde 1934 das erste Messgerät mit blockiertem Schlepprad entwickelt. In Deutschland entstand 1936 der Darmstädter Reibungsmesser, mit dem bereits systematische Reibungsmessungen auf Abschnitten von Reichsautobahnen und Reichsstraßen bei Geschwindigkeiten zwischen 40 km/h und 120 km/h durchgeführt wurden. In England und Frankreich wurden zur gleichen Zeit Seitenkraftmessverfahren entwickelt, welche bis heute stetig verbessert wurden [46].

In Österreich wurde im Jahr 1965 ein Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) mit blockiertem Messrad angeschafft, der bis zum Jahr 1985 betrieben wurde. Im Jahr 1990 wurde ein neues hochwertiges Griffigkeitsmessgerät in Österreich entwickelt, welches aufbauend auf dem Prinzip des Stuttgarter Reibungsmessers die Vorteile von SRM und auch SCRIM in sich vereint, ohne deren Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. Das vom Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS) in enger Zusammenarbeit mit arsenal research konzipierte Griffigkeitsmessgerät STURM (Bestandteil des Messsystems RoadSTAR) ist noch immer im Einsatz und wird bis dato stetig weiterentwickelt [46].

3.1 Überblick über die Messsysteme

Da die Messsysteme zur Erfassung der Griffigkeit zahlreich und von Land zu Land unterschiedlich sind, werden in den nachfolgenden Kapiteln nur die wesentlichsten Messgeräte aus Europa, welche auch im CEN-Entwurf vom März 2009 „Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der Griffigkeit von Fahrbahndecken durch Verwendung von dynamischen Messsystemen“ [47] und im Projekt TYROSAFE [48] (siehe Kapitel 8.7) angeführt werden, zusammenfassend beschrieben. Eine detaillierte Betrachtung erfolgt bei den in Österreich vorhandenen Systemen (SRT, RoadSTAR, GripTester). Weiters werden noch zwei weitere Kleingeräte vorgestellt welche, wie auch der GripTester, in Schrittgeschwindigkeit betrieben werden können. Je nach Messverfahren unterscheidet man zwischen stationären und dynamischen Griffigkeitsmesssystemen.

3.1.1 Stationäre Griffigkeitsmesssysteme

Bei den stationären Messsystemen kommen Kleingeräte zum Einsatz, mit denen man mit relativ geringem Aufwand die Griffigkeit einer Fahrbahnoberfläche punktuell erfassen kann. Von Vorteil sind die geringen Anschaffungs- und Erhaltungskosten sowie die einfache Anwendung und der geringe Platzbedarf während der Messung. Nachteilig wirken sich allerdings die Beeinträchtigungen des Verkehrs (Absperren des zu untersuchenden Straßenabschnittes), die Gefährdung des Messpersonals auf der Straße sowie die Erfassung von nur wenigen, sehr kleinen Oberflächenausschnitten aus. Daher sind diese Systeme vorwiegend für die Projektebene und für Bereiche, welche mit dynamischen Messsystemen nicht erreichbar sind, (z.B. Gehsteige, Fahrbahnmarkierungen, Garagen) geeignet. Für eine netzweite Zustandserfassung sind stationäre Griffigkeitsmessgeräte in der Regel unbrauchbar, da der Zeitaufwand für die Messdurchführung zu groß wäre.

Weltweit hat sich folgendes stationäres Messsystem zur Beurteilung der Griffigkeit durchgesetzt, welches auch in Österreich in Kombination mit einem Texturmessgerät, dem Ausflussmesser nach Moore (AM) oder dem Sandfleckverfahren, zum Einsatz kommt:

- Skid Resistance Tester (SRT-Pendel)

3.1.2 Dynamische Griffigkeitsmesssysteme

Die dynamischen Messsysteme haben gegenüber den stationär messenden den Vorteil, dass mit ihnen die Griffigkeit durchgehend und mit geringer Verkehrsbeeinträchtigung erfasst werden kann. Sie eignen sich bestens, um große Streckennetze kontinuierlich zu messen, da sie aufgrund der Messgeschwindigkeit eine hohe Tageskilometerleistung erreichen.

Die wichtigsten dynamischen Griffigkeitsmesssysteme lassen sich in die nachfolgenden Gruppen einteilen, wobei einige Messgeräte optional auch mehrere Messkonfigurationen ermöglichen.

<u>Blockiertes Messrad (100 % Schlupf)</u>

- Stuttgarter Reibungsmesser – SRM
- ADHERA
- Road Surface Tester of Arsenal Research – RoadSTAR (optional)
- Skiddometer Trailer (optional)
- Road Analyser and Recorder – ROAR (optional)

<u>Konstanter Schlupf des Messrads</u>

- Road Surface Tester of Arsenal Research – RoadSTAR
- GripTester
- Road Analyser and Recorder – ROAR

- Skiddometer Trailer
- DWW Trailer
- Tatra Runway Tester – TRT

Variabler Schlupf des Messrads

- ADHERA (optional)
- Road Surface Tester of Arsenal Research – RoadSTAR (optional)
- Road Analyser and Recorder – ROAR (optional)
- Tatra Runway Tester – TRT (optional)

Antiblockiersystem (ABS)

- Road Surface Tester of Arsenal Research – RoadSTAR (optional)

Schräges Messrad

- Sideway Coefficient Force Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Mashine – SCRIM
- Seitenkraftmessverfahren – SKM

Langsamfahrende Kleingeräte

Weiters kann man ebenfalls drei langsam fahrende Kleingeräte zu den dynamischen Messsystemen zählen, da hier ebenfalls eine kontinuierliche Erfassung der Griffigkeit erfolgt:

- GripTester (optional)
- Portable Friction Tester – VTI
- Portable Friction Tester – T2GO

Allerdings können mit diesen Geräten aufgrund der Messgeschwindigkeit von nur 5 km/h keine Messungen im fließenden Verkehr durchgeführt und nur kurze Streckenabschnitte gemessen werden (z.B. Knoten).

3.2 Messsystem SRT-Pendel

3.2.1 Allgemeine Beschreibung

Das SRT-Pendel (Portable Skid Resistance Tester bzw. British Pendulum Tester) ist ein stationäres Messgerät und wurde in den 1960-er Jahren vom Transport and Road Research Laboratory (TRRL) entwickelt [49] und ist bis heute noch weltweit im Einsatz. Dabei handelt es sich um ein Basisgestell mit einem Pendelarm auf dem am Ende ein federbelasteter Gleitkörper aus Gummi angebracht ist. Dieses Gerät kann von einer Person leicht transportiert und rasch bedient werden. Mit diesem Verfahren wird allerdings nur die Griffigkeit eines sehr kleinen Teils einer Oberfläche (ca. 0,01 m²) bestimmt. In Abbildung 3-1 ist das SRT-Pendel

mit dem Zubehör (für Reinigung und Bewässerung und einrichten der Gleitlänge) für die Messdurchführung dargestellt.

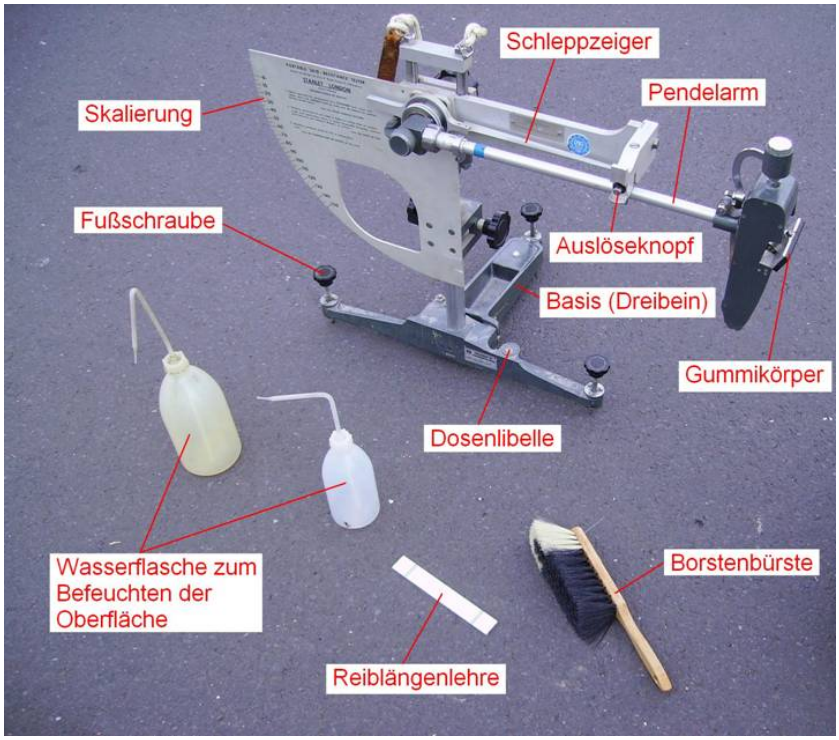


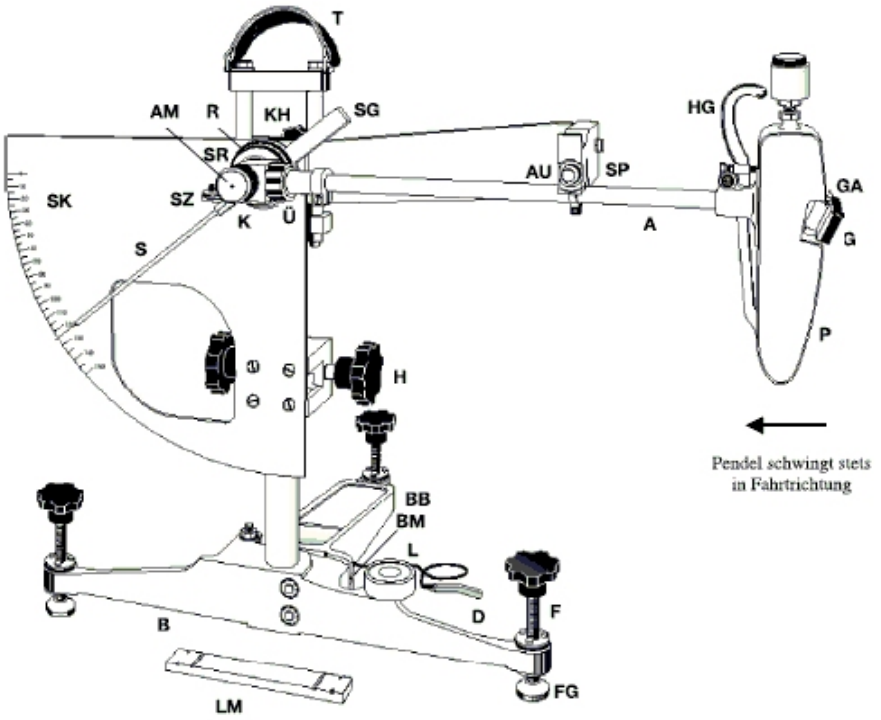
Abbildung 3-1: SRT-Pendel mit Zubehör [50]

3.2.2 Technische Beschreibung des Messsystems

Das SRT-Pendel wiegt ca. 14 kg und verfügt über folgende wesentliche Ausstattungsmerkmale (siehe Abbildung 3-2) [51]:

- Federbelasteter Gleitkörper (G) am Ende des Pendelarms (A) mit einem Abstand der Gleitkante von 514 ± 6 mm zur Drehachse.
- Dreibeiniger Standfuß (B) mit ausreichender Masse zur Sicherstellung der Standsicherheit während der Prüfung.
- Vorrichtung (F, FG) und Dosenlibelle (L) zum Horizontieren des Basisgestelles, damit die Mittelsäule des Gerätes senkrecht ausgerichtet werden kann.
- Vorrichtung (H, KH) zum Heben und zum Absenken der Aufhängeachse des Pendelarms, damit der Gleitkörper frei über die Oberfläche mit einer festen Länge von 126 ± 1 mm schwingen kann.
- Vorrichtung (SP, AU), um den Pendelarm festzuhalten und zu lösen, so dass er frei aus einer horizontalen Position schwingen kann.
- Zeiger (S) der drehbar um die Pendelaufhängachse montiert ist und die Position des Pendelarms während des Aufwärtsschwungs anzeigt.

- Halbkreisförmige Skala (SK) mit Markierungen von 0 bis 150 in Abständen von 5 Einheiten.



A	Pendelarm	KH	Klemmvorrichtung/Höhenverstellung
AM	Ablesemarkierung		
AU	Auslöseknopf	L	Dosenlibelle
B	Basisgestell	LM	Reiblängenmaßstab
BB	beweglicher dritter Basisgestellarm	P	Pendelfuß
BM	Befestigungsmutter für Basisgestellarm	R	Reibbremse
		S	Schleppzeiger
D	Distanzstück für Reiblängengrobeinstellung	SG	Schleppzeigergegengewicht
		SK	Skalenschild
F	Fußschraube des Basisgestells	SP	Sperrklinke
FG	gelenkig gelagerter Aufstellfuß	SR	Stellringe (Nullstellung)
G	Gleitkörper	SZ	Schleppzeigermitnehmer – Anschlag
GA	Gleitkörperaufnahme		
H	Höhenverstellhandrad	T	Tragegriff
HG	Hebegriff	Ü	Überwurfmutter
K	Pendellagerkopf	Maße:	Breite 840 mm, Höhe ca. 680 mm
		Gewicht:	ca. 14 kg

Abbildung 3-2: Bestandteile des SRT-Pendel [51]

3.2.3 Messprinzip

Beim Messvorgang gleitet die Kante des Gummikörpers mit ca. 10 km/h und einem Anpressdruck von ca. 22 N über eine definierte Länge der zu prüfenden angenässten Oberfläche. Der Pendelarm erreicht nach dem Gleitvorgang eine Steighöhe, die umso größer ist, je kleiner der Energieverlust durch die Reibung ist. Der auftretende Verlust an kinetischer Energie entspricht der Reibungsarbeit und ist somit ein Maß für die Griffigkeit bei sehr geringen Geschwindigkeiten, welche hauptsächlich von der Mikrotextur der Oberfläche abhängig ist [21].

Bei der Durchführung der Prüfung gemäß ÖNORM EN 13036-4 [51] ist die zu prüfende Oberfläche zuerst von losen Partikeln zu reinigen und mit Wasser zu spülen. Das SRT-Pendel ist so auf eine feste Oberfläche zu stellen, dass das Pendel in Richtung des Verkehrs schwingt. Die Neigung der Oberfläche darf maximal 6 % betragen. Wo das nicht möglich ist, muss der Versuch in einem anderen Winkel zur Richtung des Verkehrs ausgeführt werden, der es ermöglicht, das Neigungswinkelkriterium zu erfüllen. Die Prüfung ist in der am stärksten befahrenen Rollspur einer Fahrbahn durchzuführen. Die Temperatur der bewässerten Prüffläche sowie des Gleitkörpers ist zu messen und muss innerhalb eines Bereiches von 1 °C bis 40 °C liegen. Ein geeigneter Gleitkörper mit einem Reibgummi entweder aus CEN-Gummi oder aus 4S-Gummi ist zu wählen. Die Höhe des Pendelarms ist so einzustellen, dass der Reibgummi bei der Bewegung über die Oberfläche mit seiner gesamten Breite und über einen festgelegten Schleifweg Kontakt mit der Prüfoberfläche hat. Dabei ist eine markierte Lehre zum Einstellen der Reiblänge (126 ± 1 mm) zu verwenden. Das Pendel und der Zeiger sind mit dem Auslöseknopf aus der horizontalen Position zu lösen. Das Pendel ist kurz nach Beginn des Rückschwingens festzuhalten, und die Anzeige des Zeigers ist als volle Zahl aufzuzeichnen. Das Pendel und der Zeiger sind durch Anheben des Gleitkörpers mit dem Handgriff in die Ausgangsposition zurückzuführen. Der Pendelwert (PTV – Pendulum Tester Value) ist der Mittelwert aus fünf Schwingungen. Dabei ist die Prüffläche jedes Mal, kurz vor Loslassen des Pendels, neu zu bewässern. Weichen die ersten fünf Ergebnisse um mehr als drei Einheiten voneinander ab, wird die Prüfung so lange wiederholt, bis die Werte dreier aufeinander folgender Messungen konstant sind. Bei einem CEN-Gummi ist der PTV bei einer von 20 °C abweichenden Temperatur zu korrigieren. Bei einem Reibgummi aus 4S-Gummi erfolgt keine Korrektur des PTV. Der PTV bzw. der PTV_{korr} ist als ganze Zahl anzugeben. In diversen Normen und in der Fachliteratur wird der PTV oft auch als SRT-Wert bezeichnet.

3.2.4 Einsatzbereich

Das SRT-Pendel kann nur einen sehr groben Überblick über das Griffigkeitsniveau einer Fahrbahnoberfläche geben und ist nur bedingt geeignet, Rückschlüsse auf das tatsächliche Griffigkeitsverhalten zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche zu schließen, da nur sehr kleine Flächen erfasst werden und die Ergebnisse maßgeblich von der Mikrotextur der Fahrbahn abhängen.

Für eine realitätsnahe Erfassung der Griffigkeit ist es daher notwendig, eine kombinierte Messung mit einem Texturmessverfahren durchzuführen, um auch die Makrotextur beurteilen zu können. Trotzdem wird das SRT-Pendel weltweit zur Beurteilung der Griffigkeit herangezogen und oft auch als Ersatzmessung für dynamische Griffigkeitsmessgeräte zugelassen. Der ideale Einsatzbereich für das SRT-Pendel sind Fahrbahnmarkierungen und Fußgängerflächen.

3.3 Messsystem RoadSTAR

3.3.1 Allgemeine Beschreibung

Der Road Surface Tester of arsenal reseach (RoadSTAR) ist ein dynamisches Messsystem zur Erfassung der wichtigsten Oberflächeneigenschaften (Griffigkeit, Textur, Querebenheit, Längsebenheit) sowie Trassierungsparameter (Längsneigung, Querneigung, Kurvenradius). Die installierte Griffigkeitsmess-einrichtung zur kontinuierlichen Ermittlung des Reibungsbeiwertes in Längsrichtung basiert auf dem Prinzip des Stuttgarter Reibungsmessers (siehe Kapitel 3.5.1). Der RoadSTAR ist auf einem 2-Achs-Lkw aufgebaut. Über der Hinterachse sitzt ein Wassertank und am Heck in der rechten Radspur befindet sich die Griffigkeitsmesseinrichtung, ein modifizierter Stuttgarter Reibungsmesser (siehe Abbildung 3-4). Mit dem RoadSTAR können die Griffigkeitsmessungen im fließenden Verkehr bei Messgeschwindigkeiten zwischen 30 km/h und 120 km/h durchgeführt werden [52].

Das Messgerät wurde 1991 vom “Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart“ in enger Zusammenarbeit mit Mitarbeitern von arsenal research konzipiert und bis dato stetig weiterentwickelt. Seit 2005 gibt es auch ein Nachfolgemodell – den RoadSTAR². Dieser ist hinsichtlich der Griffigkeits-messeinrichtung identisch zum RoadSTAR, aber es besteht die Möglichkeit mit anderen Schlupfzuständen Messungen auszuführen und die Radlast nun direkt am Messrad zu erfassen.

Zurzeit gibt es weltweit nur zwei dieser Messsysteme, die beide in Österreich auf dem Straßennetz im Einsatz sind.

Abbildung 3-3: RoadSTAR und RoadSTAR² [arsenal research]

1 Messrad
2 Belastungszylinder
3 Bewässerungseinheit
4 Vorbewässerung
5 Getriebe
6 Wassertank
7 Geräteaufbewahrung
8 Fahrerkabine

Abbildung 3-4: Griffigkeitsmesssystem RoadSTAR [52]

3.3.2 Technische Beschreibung des Messsystems

Griffigkeitsmesseinrichtung

Der modifizierte Stuttgarter Reibungsmesser (STURM) weist im Vergleich zum original Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) vollkommen neu konstruierte und verbesserte Aggregate auf. Durch die Neukonstruktion der Belastungseinheit – ein Druckluftbelastungszylinder hält den Reifenanpressdruck des Messrades konstant – und durch die zusätzliche Erfassung der aktuellen (statischen und dynamischen) Radlasten konnte eine deutliche Erhöhung der Messgenauigkeit erreicht werden. Die Griffigkeitsmesseinrichtung verfügt über [52]:

- Pneumatischer Zylinder zur kontrollierten Belastung,
- Getriebe,
- Kupplung für konstanten Schlupf,
- Belastungszelle für die vertikale Belastung des Messreifens,
- Drehmomentachse mit Dehnmessstreifen.

Mit der Griffigkeitsmesseinrichtung können unterschiedliche Bremszustände (Block-, ABS- und Schlupfmessungen) simuliert werden. Bei Schlupfmessungen ist ein kontinuierlicher Messablauf mit einem definierten Schlupf (z.B. 18, 25, 50, 62,5 %) möglich. Bei Block- und ABS-Messungen werden Bremssequenzen mit Bremsstrecken und Freilaufstrecken festgelegt. In Tabelle 3-1 sind die Spezifikationen für die beiden RoadSTAR Modelle zusammengefasst.

Tabelle 3-1: Technische Daten RoadSTAR

Parameter	RoadSTAR	RoadSTAR²
Länge	8600 mm	8400 mm
Breite	2550 mm	2580 mm
Höhe	3100 mm	3400 mm
Eigengewicht	10920 kg (18.000 kg)	11350 kg (19.000 kg)
Messreifen	PIARC-Normmessreifen mit 4 Längsrillen, Dimension 165 R 15, Mindestprofiltiefe 1,6 mm	
Messreifenlast	3500 N (wird kontinuierlich geregelt)	
Messreifenschlupf	18%, 100%, ABS	18%, 25%, 50%, 62,5%, 100%, ABS
Messreifeninnendruck	2,0 bar (bei 20 °C)	
Betriebsgeschwindigkeit	30 km/h bis 120 km/h	
Messauflösung	15 cm	5 cm (Abtastrate 5mm)

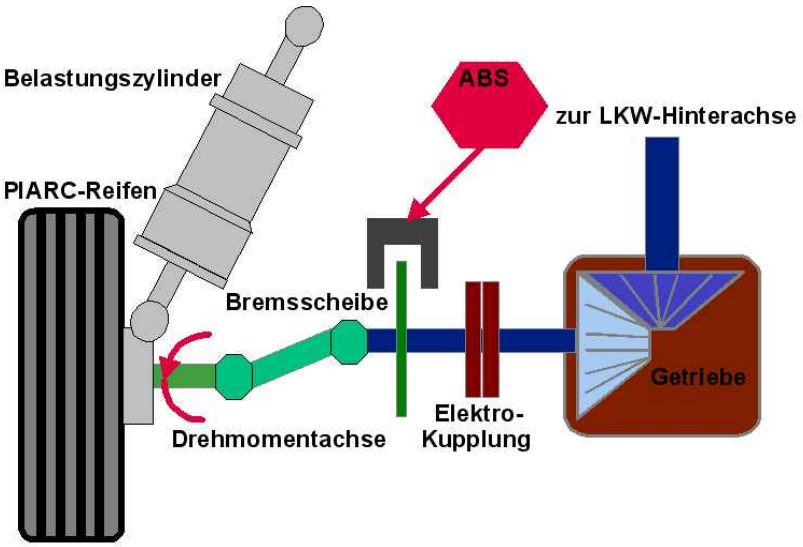


Abbildung 3-5: Griffigkeitsmesseinrichtung RoadSTAR [52]

Aufgrund der Konstruktion der Griffigkeitsmesseinrichtung und der Wankbewegungen des Fahrzeuges bei größeren Geschwindigkeiten ergeben sich mechanische Grenzwerte für die Griffigkeitsmessung bei engen Kurvenradien (siehe Abbildung 3-6). Bis zu einer Messgeschwindigkeit von ca. 60 km/h bildet die geometrische Eigenschaft der Griffigkeitsmesseinrichtung den limitierenden Faktor für den minimalen Kurvenradius, da das Messrad nicht mehr frei abrollen kann, sondern nachgeschliffen wird. Ab einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h sind die Wankbewegungen limitierend. Für die Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h ergibt sich somit ein minimaler Kurvenradius von 85 m [52].

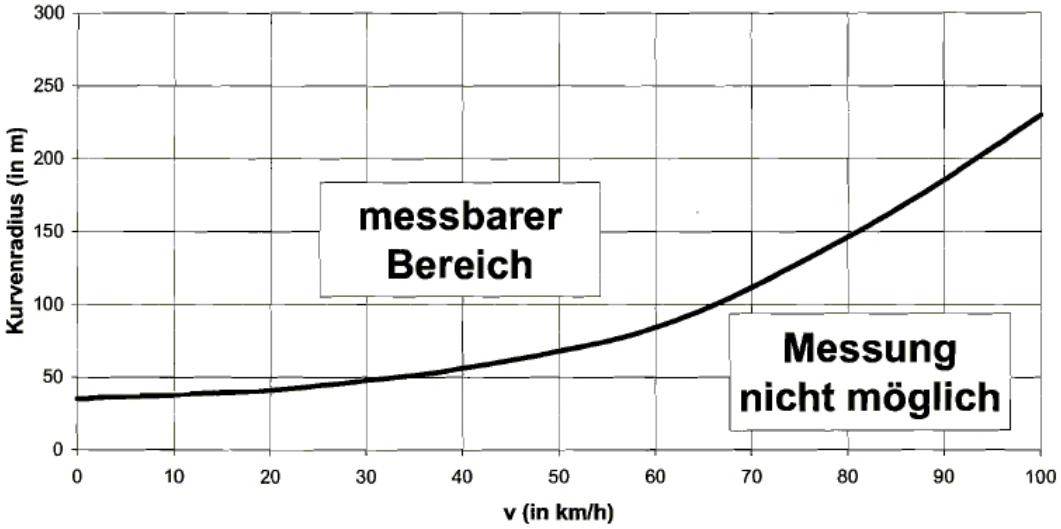


Abbildung 3-6: Minimale Kurvenradien RoadSTAR [52]

Bewässerungseinrichtung

Da vor allem die Griffigkeit auf nasser Fahrbahn kritisch ist, werden bei allen Messungen im Bereich der Messradspur eine Vorbewässerung und eine definierte theoretisch rechnerische Wasserfilmdicke aufgebracht. Dies erfolgt über eine Hochdruckvorbewässerung zur Reinigung und Benetzung der Oberfläche und eine spezielle Ausflussvorrichtung, die eine um 25 mm breitere Wasserspur als die Messreifenbreite ermöglicht (siehe Abbildung 3-7). Die Einstellung des erforderlichen Wasserzuflusses erfolgt in Abhängigkeit von der gewählten Messgeschwindigkeit. Zur Erzeugung der rechnerisch konstanten Wasserfilmdicke wird die Wassermenge fahrgeschwindigkeitsabhängig dosiert. Mit dem Bewässerungssystem sind Wasserfilmdicken zwischen 0,5 mm und 2,0 mm für Messgeschwindigkeiten von 30 km/h bis 120 km/h möglich [52].

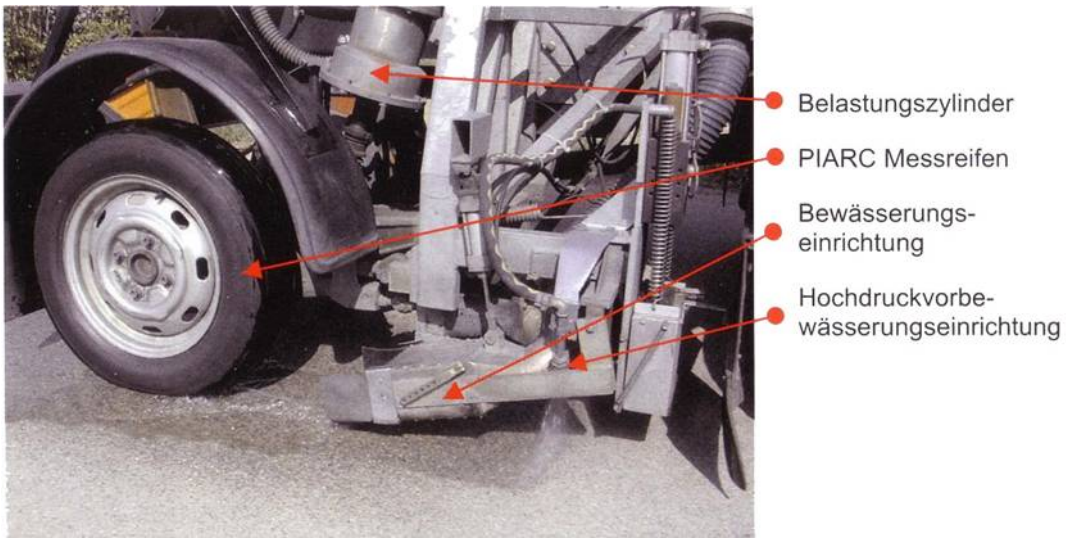


Abbildung 3-7: Bewässerungseinrichtung RoadSTAR [52]

Das notwendige Wasser wird in einem Vorratstank mit einem Fassungsvermögen von 6000 l mitgeführt. Mit einer vorgewählten Wasserfilmdicke von 0,5 mm und einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h sind Messstreckenlängen bis zu 60 km mit einer Tankfüllung möglich [52].

Datenerfassung

Die Griffigkeitsmessung erfolgt computerunterstützt und es können unterschiedliche Messprogramme vordefiniert werden. Die aktuellen Messdaten und Betriebszustände können laufend über ein grafisches Benutzer-Interface (siehe Abbildung 3-8) in der Fahrerkabine überwacht werden. Alle Messwerte werden digital aufgezeichnet und mit differentiell korrigierten GPS-Koordinaten versehen [52].

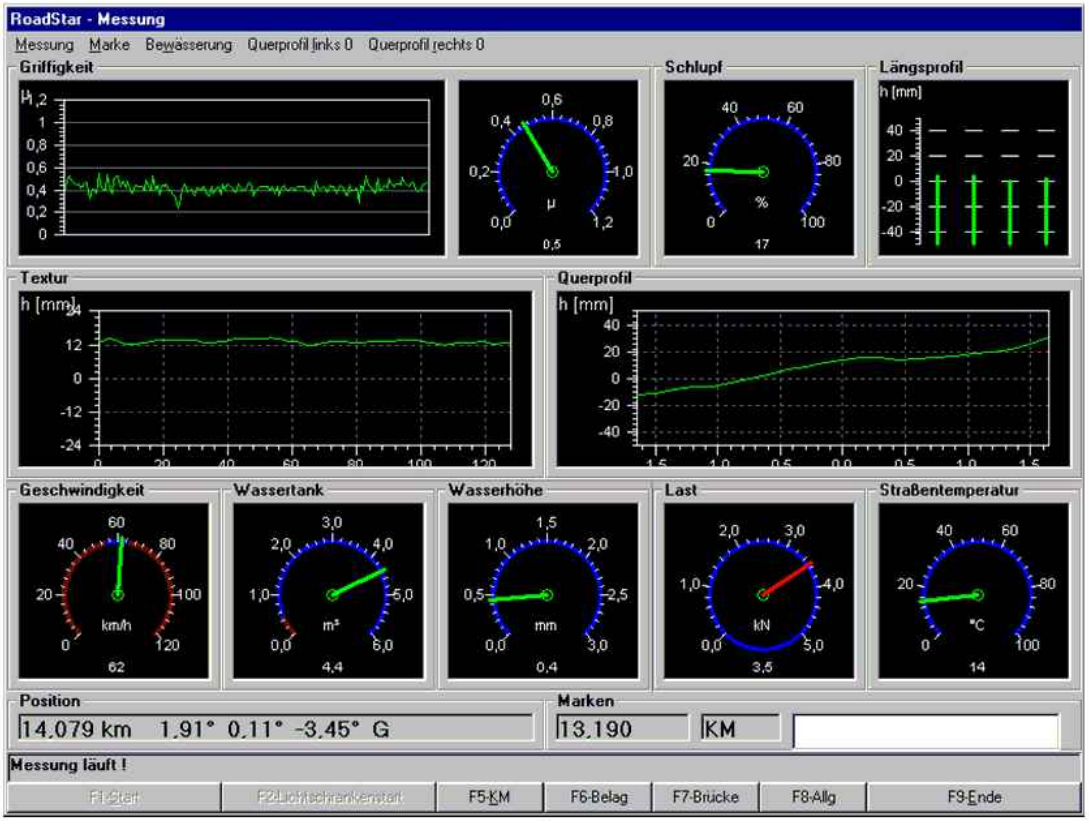


Abbildung 3-8: Benutzer-Interface RoadSTAR [46]

Fahrzeug

Die Leistung des Lastkraftfahrzeuges wurde so gewählt, dass dieses mit einem vollen Wassertank eine Straße mit einem Griffigkeitsniveau von 1,0 und einer Längsneigung von +8 % noch mit einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h befahren kann [52].

3.3.3 Messprinzip

Das Messrad, das durch ein Getriebe mit Kupplung (siehe Abbildung 3-5) mit 18, 25, 50, 62,5 oder 100 % Schlupf oder mit ABS angetrieben wird, ist an einer Schwinge angehängt, die Schwenk- und Federbewegungen zulässt. Der Sturz des

Messrades ist durch die gewählte Aufhängung auf den Wert Null eingestellt. Die Radmittelebene steht senkrecht zur Fahrbahnebene und das Messrad schwenkt selbstständig in die Stellung, in der es bis zu gewissen Kurvenradien (siehe Abbildung 3-6) nahezu seitenkraftfrei abläuft. Dies bedeutet, dass auch bei einer Kurvenfahrt der Schräglaufwinkel annähernd Null ist. Zur Erzeugung der definierten Radlast wird das Messrad mittels eines Pneumatikzylinders auf die Fahrbahn gepresst bzw. entlastet. Während der Messung werden die aktuellen vertikalen Radlasten mit einer elektronischen Belastungszelle sowie das Bremsmoment über Dehnmessstreifen auf der Drehmomentenachse kontinuierlich erfasst. Mit Hilfe des bekannten Messradhalbmessers wird aus dem Bremsmoment die Bremskraft ermittelt. Durch Bildung des Quotienten aus Bremskraft und Vertikalkraft erhält man gemäß dem Coulomb´schen Reibungsgesetz den Reibungsbeiwert μ_{RS} (siehe Abbildung 3-9) [52].

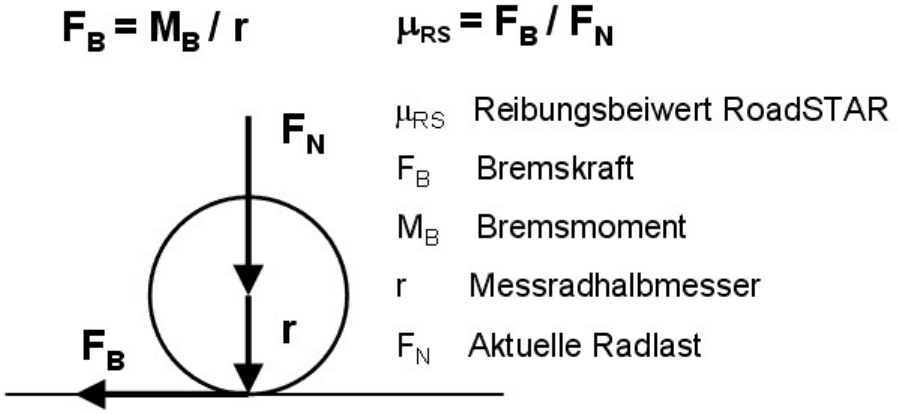


Abbildung 3-9: Ermittlung des Längsreibungsbeiwertes μ_{RS}

3.3.4 Einsatzbereich

Aufgrund der Größe des Messsystems RoadSTAR kann es hauptsächlich auf Hauptverkehrsstraßen im fließenden Verkehr oder auf Flugpisten eingesetzt werden. Durch die hohe Tageskilometerleistung ist es perfekt für die Erfassung von großen Streckennetzen geeignet.

3.4 Messsystem GripTester

3.4.1 Allgemeine Beschreibung

Der GripTester ist ein dynamisches Griffigkeitsmessgerät zur kontinuierlichen Ermittlung des Reibungsbeiwertes in Längsrichtung. Dieses Gerät wurde von der Firma Findlay Irvine Ltd. 1987 in Schottland entworfen und konstruiert und als Version MK1 auf den Markt gebracht. Der GripTester wurde stetig weiter entwickelt und seit 2003 ist eine neue MK2 Version erhältlich (siehe Abbildung 3-10).

Abbildung 3-10: Aktuelle GripTester Version MK2 [Findlay Irvine]

Abbildung 3-11: Gegenüberstellung Version MK1 und MK2

Wie zu sehen ist, unterscheidet sich das aktuelle Nachfolgemodell äußerlich nur unwesentlich (siehe Abbildung 3-11), ist aber mit einer verbesserten Elektronik und einer veränderten Messachse (siehe Kapitel 3.4.3) ausgestattet.

Bis heute sind weltweit bereits über 400 GripTester verkauft worden, welche großteils (ca. 300) auf Flughäfen und Helidecks und die restlichen (ca. 100) auf Straßen im Einsatz sind. In Europa werden für die Griffigkeitsmessungen auf Flugbetriebsflächen ca. 120 GripTester und auf Fahrbahnoberflächen von Straßen ca. 70 GripTester verwendet. Von diesen ca. 70 GripTestern ist die Hälfte in Großbritannien, die übrigen in Belgien, Niederlande, Italien, Deutschland, Frankreich, Portugal, Spanien, Irland, Kroatien, Tschechien und zwei in Österreich (beide im Besitz der TU-Wien) in Verwendung.

Der GripTester ist ein leichter, kompakter Messanhänger mit zwei Laufrädern und einem Messrad. Das Messsystem GripTester besteht im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten:

- GripTester Messanhänger
- Bewässerungssystem
- Datenerfassungseinheit
- (Zugfahrzeug)

Der GripTester kann in zwei Betriebsarten für Griffigkeitsmessungen eingesetzt werden. Im Zugbetrieb wird er an ein beliebiges Kraftfahrzeug angehängt, welches ein vollautomatisches Bewässerungssystem mit Wassertank enthält und mit Messgeschwindigkeiten von 20 km/h bis 130 km/h gezogen (siehe Abbildung 3-12). Die Datenerfassungseinheit befindet sich in der Fahrerkabine.

Abbildung 3-12: GripTester im Zugbetrieb [53] [54]

Im Schiebebetrieb wird der GripTester mit zwei kleinen Wassertanks und einem Schiebegriff ausgestattet und von einer Person in Schrittgeschwindigkeit mit ca. 5 km/h geschoben (siehe Abbildung 3-13). Alle Messwerte werden mit einer externen Datenerfassungseinheit digital aufgezeichnet.

Abbildung 3-13: GripTester im Schiebebetrieb [53] [54]

3.4.2 Technische Beschreibung des Messsystems

GripTester

In Tabelle 3-2 sind die Spezifikationen für den GripTester aus [55] [56] zusammengefasst, welche sowohl für das Modell MK1 als auch MK2 gelten.

Tabelle 3-2: Technische Daten GripTester

Parameter	GripTester MK1 / MK2
Länge	1010 mm (ohne Zugdeichsel und Schiebegriff)
Breite	790 mm
Höhe	510 mm (ohne kleine Wassertanks)
Eigengewicht	ca. 85 kg
Laufreifen	ø 10 Zoll (25,4 cm), profiliert, Dunlop 10x3.60-5, Lauffläche KT3-W, Mischung K8-CIK
Messreifen	ø 10 Zoll (25,4 cm), profillos, 10x4.5-5 Gummimischung nach ASTM-Standard E1844-96, Shore-A Härte 58 ± 2 bei 23 ± 2 °C nach DIN 53505, Reifenkontrollbohrungstiefe ca. 5 mm.
Messreifenlast	ca. 250 N (wird kontinuierlich erfasst)
Messreifenschlupf	15±1%
Reifeninnendruck	1,4 bar (bei 20 °C)
Betriebsgeschwindigkeit	Zugbetrieb 20 km/h bis 130 km/h Schiebebetrieb 5 km/h
Messauflösung	Zugbetrieb 40 cm oder 80 cm Schiebebetrieb 4 cm oder 16 cm
Messbereich	$0{,}00 \leq \mu_{GT} \leq 1{,}20$

Hauptelement des GripTesters ist das Fahrwerk, das aus der vorderen Laufradachse und der hinteren Messradachse besteht. Auf der Vorderachse

befinden sich zwei profilierte Laufräder, die Hinterachse trägt den mittig angebrachten profillosen Messreifen (siehe Abbildung 3-22). Weiters befindet sich im GripTester die Rechnereinheit (SPU – Signal Processing Unit) welche die Messdaten verarbeitet und an eine externe Datenerfassungseinheit überträgt.

Bewässerungssystem

Zur Annässung der Fahrbahnoberfläche in der Rollspur des Messreifens ist ein Bewässerungssystem notwendig, das einen konstanten bzw. geschwindigkeitsabhängigen Wasserfluss gewährleistet. Das Wasser wird über eine spezielle Ausflussvorrichtung an der Unterseite des GripTesters (siehe Abbildung 3-22) auf die Fahrbahnoberfläche aufgebracht, die erzeugte Wasserfilmbreite beträgt dabei ca. 50 mm.

Für die Griffigkeitsmessungen während der Durchführung dieser Arbeit wurde das Bewässerungssystem GT-BW-01 (siehe Abbildung 3-14) der Firma Mechatronic GmbH verwendet. Dieses System wurde speziell für den Zugbetrieb mit dem GripTester entwickelt und setzt sich aus folgenden wesentlichen Komponenten zusammen [57]:

- Wassertank mit Pumpe und Durchflusssensor
- Bedienteil
- Steuergerät

Mit diesem Bewässerungssystem ist es möglich, eine theoretisch rechnerische Wasserfilmdicke zwischen 0,25 mm und 1,0 mm bei Messgeschwindigkeiten von 10 km/h bis 110 km/h, zu erzeugen. Darüber hinaus kann bis zu einer Geschwindigkeit von 130 km/h noch mit einer rechnerischen Wasserfilmdicke von 0,8 mm gemessen werden. Das Bewässerungssystem kann in zwei Modi eingesetzt werden. Im AUTO-Modus fördert es eine geschwindigkeitsabhängige Wassermenge bei einer vorgewählten Wasserfilmdicke, und im HAND-Modus eine konstante Wassermenge bei einer vorgewählten Geschwindigkeit und Wasserfilmdicke (siehe Tabelle 3-3) [57].

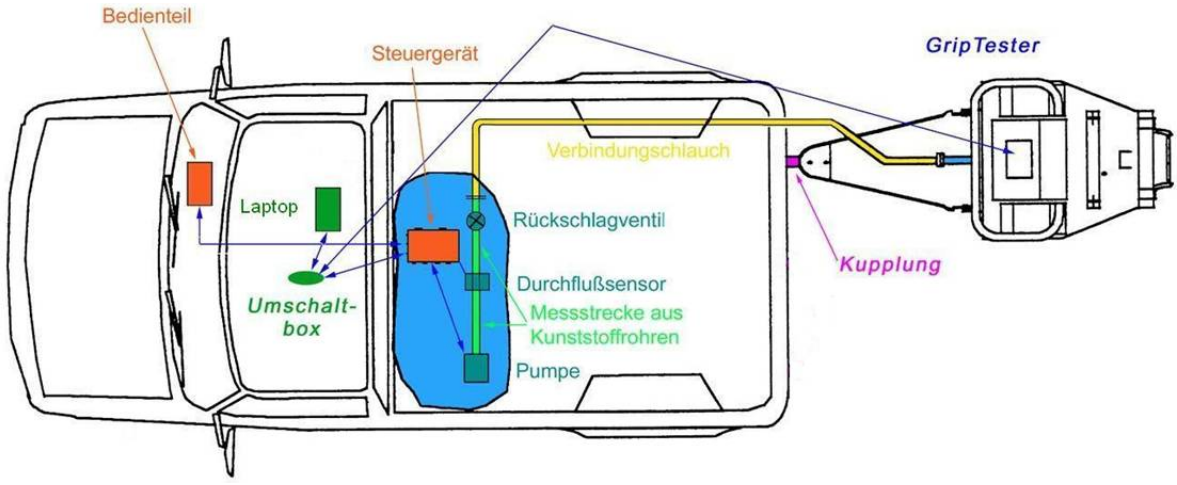


Abbildung 3-14: Anordnung des Bewässerungssystem GT-BW-01 im Zugfahrzeug [53] [54]

Tabelle 3-3: Einstellmöglichkeiten Bewässerungssystem GT-BW-01 [57]

Modus	Einstellung	Mess-geschwindigkeit [km/h]	Wasserfluss [l/min]	Wasser-filmdicke [mm]	Anmerkung
AUTO	STOP	-	-	-	kein Wasserfluss
	0,25	beliebig	variabel	0,25	Wasserfluss geschwindigkeitsabhängig
	0,3			0,3	
	0,4			0,4	
	0,5			0,5	
	0,6			0,6	
	0,7			0,7	
	0,8			0,8	
	0,9			0,9	
	1,0			1,0	
HAND	STOP	-	-	-	kein Wasserfluss
	MIN	-	5	-	Zwischenfahrt
	0,5 (40 km/h)	40	17	0,5	konstanter Wasserfluss
	0,5 (60 km/h)	60	25	0,5	
	0,5 (80 km/h)	80	33	0,5	
	1,0 (40 km/h)	40	33	1,0	
	1,0 (60 km/h)	60	50	1,0	
	1,0 (65 km/h)	65	54	1,0	
	1,0 (80 km/h)	80	67	1,0	
	1,0 (95 km/h)	95	79	1,0	

Standardmäßig wird das GT-BW-01 mit einem 275 l Wassertank inklusive einer im Tank integrierten Pumpe (maximale Förderleistung von 96 l/min) ausgeliefert. Mit dieser Wassermenge können mit Wasserfilmdicken von 0,5 mm (25 l/km) ca. 8 km in einem Stück durchgemessen werden, da beim Starten des Bewässerungssystems ein gewisser Wasserverlust auftritt, bis die gewünschte Förderleistung erreicht wird und das letzte Restwasser auch nicht mehr gleichmäßig abgepumpt werden kann. Die Einstellungen werden über ein externes Bedienteil (siehe Abbildung 3-15) vorgenommen, auf dem während der Messung das Display die aktuellen Parameter Messgeschwindigkeit, Wasserfluss und Wasserfilmdicke sowie den gewählten Betriebsmodus anzeigt.

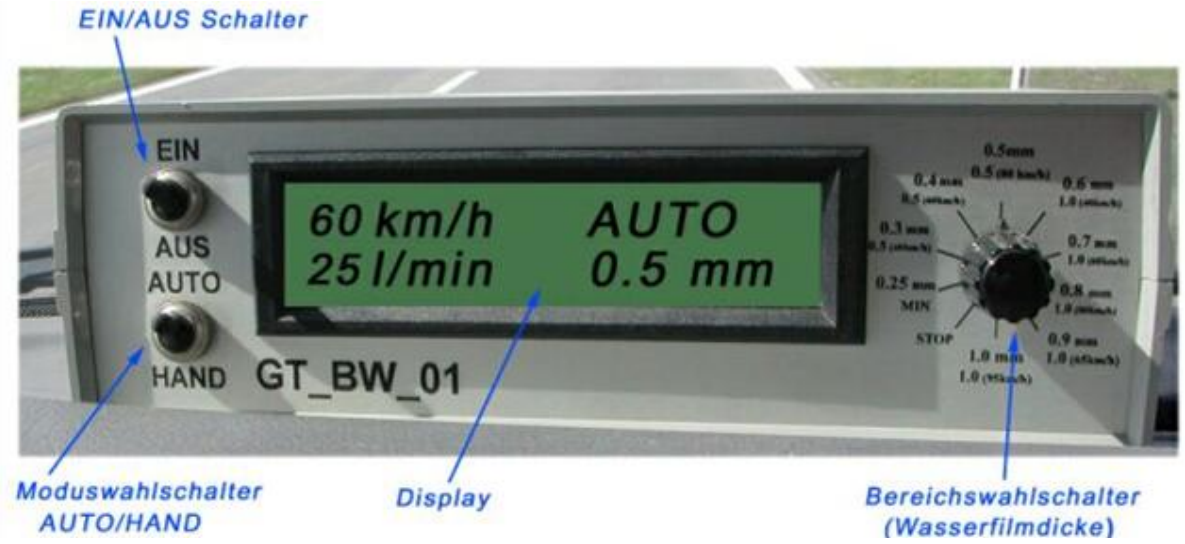


Abbildung 3-15: Bedienteil des GT-BW-01 [53] [54]

Das Steuergerät enthält die Regelelektronik zur Regulierung der geschwindigkeitsabhängigen Wassermenge. Der GripTester sendet ab einer Geschwindigkeit von 10 km/h ein Signal an das Steuergerät, welches die Pumpe des Wassertanks in Betrieb setzt. Über den Durchflusssensor und das aktuelle Geschwindigkeitssignal wird die Förderleistung der Pumpe geregelt.

Das Bewässerungssystem GT-BW-01 von Mechatronic wird seit dem Jahr 2006 nicht mehr ausgeliefert und heute ist nur mehr das Bewässerungssystem von Findlay Irvine erhältlich (siehe Abbildung 3-16).

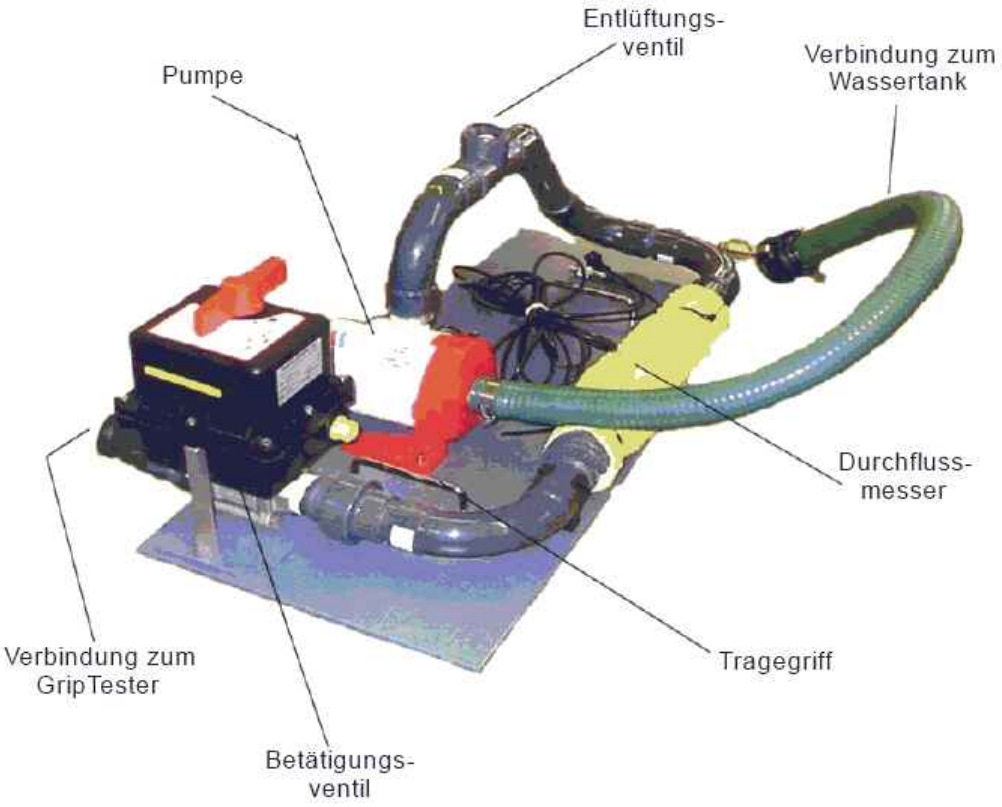


Abbildung 3-16: Bewässerungssystem Findlay Irvine [58]

Das neue Bewässerungssystem kann problemlos mit jedem beliebigen Wassertank (z.B. 300, 500 oder 1000 Liter Fassungsvermögen) kombiniert werden, da alle Komponenten extern angeordnet sind. Ein weiterer Vorteil ist die Steuerung direkt über die Datenerfassungseinheit, wo der aktuelle Wasserfluss mit dem Sollwert verglichen und für eine nachträgliche Kontrolle aufgezeichnet wird.

Für den Einsatz des GripTesters im Schiebebetrieb werden zwei Wassertanks mit einem Fassungsvermögen von je 25 l auf den Handlauf gesteckt (siehe Abbildung 3-17). Die Bewässerung wird über ein Handventil geregelt, welches je nach gewünschter Wassermenge geöffnet wird.

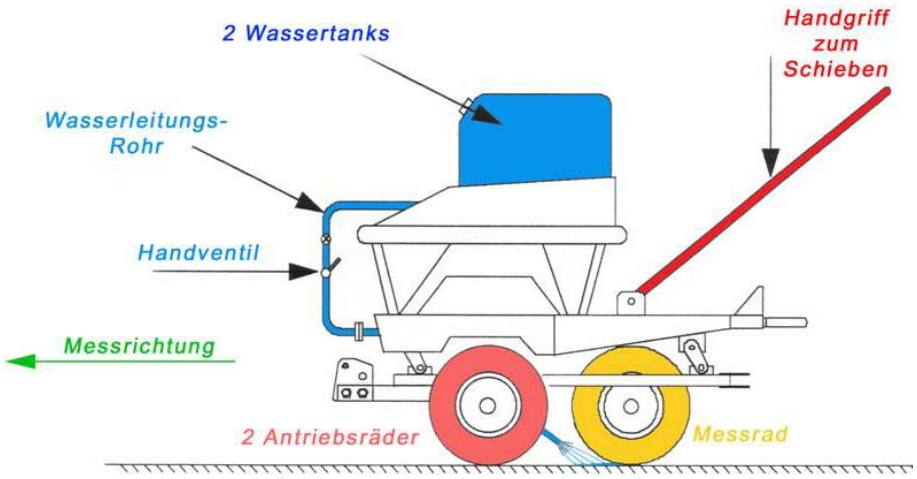


Abbildung 3-17: Anordnung der Wassertanks für den Schiebebetrieb [53] [54]

Datenerfassungseinheit

Die vom GripTester übertragenen Reibungsbeiwerte, Geschwindigkeits- und Wegstreckendaten werden in der Datenerfassungseinheit während der Messfahrt über eine Bildschirmgrafik (siehe Abbildung 3-18 oder Abbildung 3-19) dargestellt und gleichzeitig gespeichert. Als Hardware dient ein handelsüblicher PC-Laptop, der zumindest eine Serielle Schnittstelle (RS-232) für den Anschluß des GripTesters aufweisen muss.

Als Software steht das Programm „RoadManager“ [59] der Firma Mechatronic GmbH oder die Software „Roadbase“ [60] von Findlay Irvine Ltd. zur Verfügung. Weiters wird auch die Distanzkalibrierung über die Software durchgeführt, welche notwendig ist, um korrekte Geschwindigkeits- und Wegstreckendaten während der Messung zu erhalten.

Die Software „RoadManager“ speichert alle erfassten Parameter in einer Textdatei auf dem PC-Laptop ab und kann für eine weitere Auswertung in ein Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Excel) importiert werden. Die Software „Roadbase“ speichert automatisch die Messdaten in einer Exceldatei und einer Access Datenbankdatei ab. Zusätzlich wird bei dieser Software auch der Wasserfluss während der Messung abgespeichert.

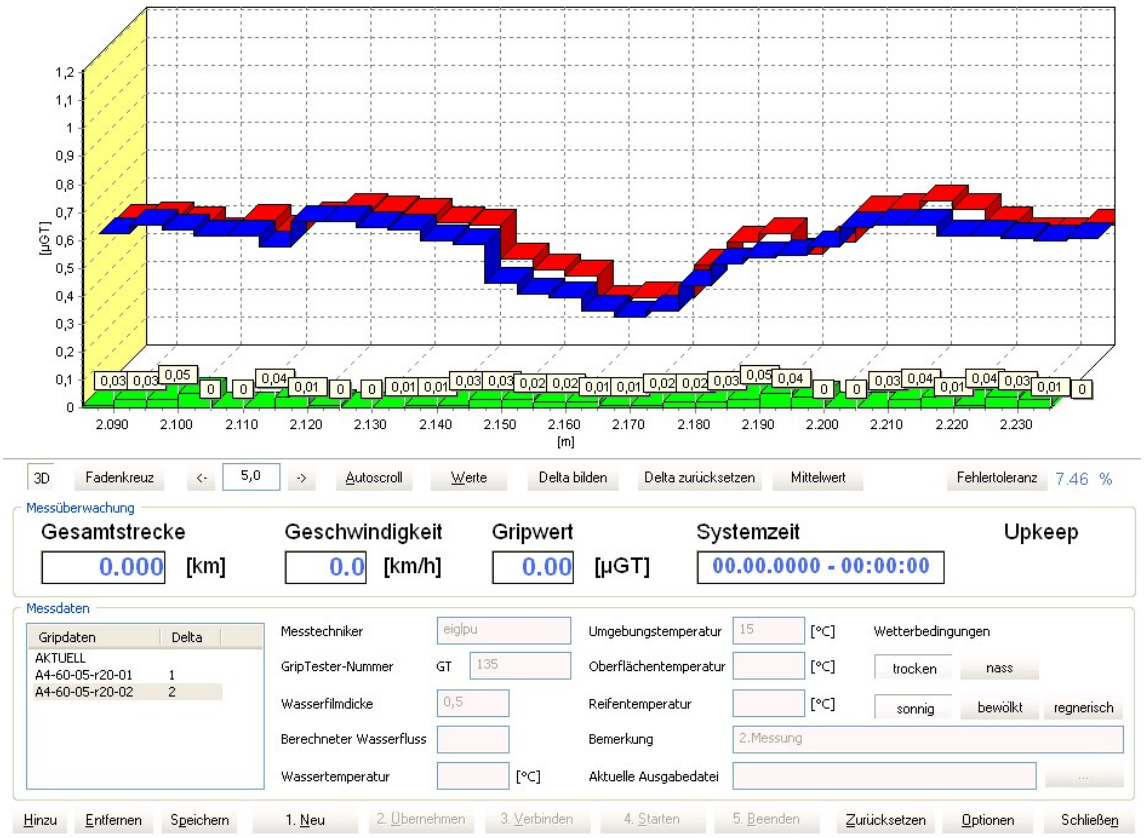


Abbildung 3-18: Anzeige Datenerfassungssoftware „Roadmanager“ [59]

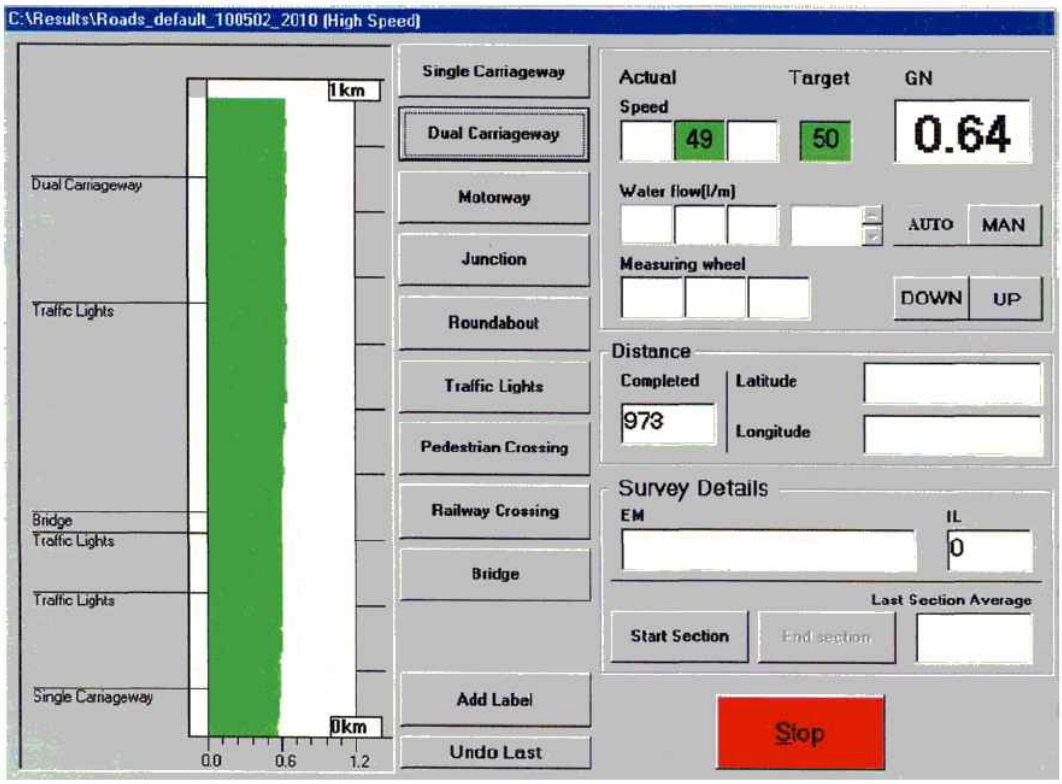


Abbildung 3-19: Anzeige Datenerfassungssoftware „Roadbase“ [60]

Zugfahrzeug

Für den Zugbetrieb kann jedes beliebige Kraftfahrzeug verwendet werden, das folgende Voraussetzungen/Ausstattungsmerkmale erfüllt:

- Anhängervorrichtung in passender Höhe/Lage für den Anschluss der Zugdeichsel des GripTesters.
- Ausreichend Stauraum für Wassertank und Transport des GripTesters.
- Ausreichende Nutzlast für den vollen Wassertank (bis zu 1000 kg).
- Stromversorgung für Bewässerungssystem und Datenerfassungseinheit.
- Tempomat für die Einhaltung einer konstanten Messgeschwindigkeit.
- Ausreichende Motorisierung zur Beschleunigung auf die Messgeschwindigkeit.
- Warnleuchte.

Die Anhängevorrichtung sollte so am Zugfahrzeug angebracht sein, dass es möglich ist, mit dem Messreifen des GripTesters in der (rechten) Rollspur eines Fahrstreifens zu messen, da im Regelfall, über den Fahrstreifenquerschnitt betrachtet, die Griffigkeit dort am geringsten ist. Optional können Zugfahrzeuge auch mit mehreren Anhängevorrichtungen ausgestattet werden, um Griffigkeitsmessungen auch an anderen Stellen der Fahrbahnoberfläche zu ermöglichen. Die Höhe der Anhängerkupplung muss so ausgerichtet sein, dass die Zugdeichsel des GripTesters möglichst horizontal oder leicht ansteigend befestigt werden kann (siehe Abbildung 3-20).

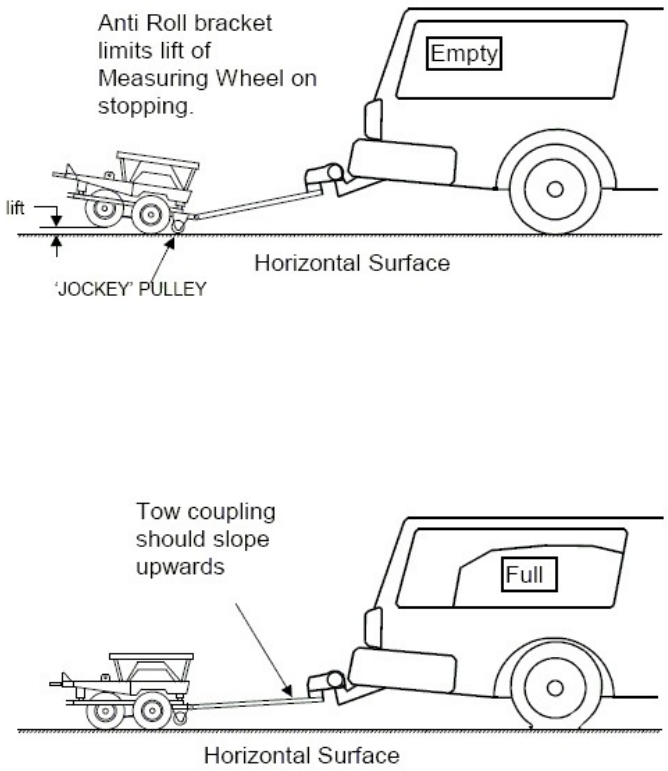


Abbildung 3-20: Höhe der Anhängerkupplung am Zugfahrzeug [56]

Um den GripTester bei kurzen Transportstrecken nicht immer ins Zugfahrzeug einladen zu müssen (z.B. zwischen zwei Messungen) kann mittels eines Spanngurtes oder eines automatischen „Wheel-Lifts“ der GripTester hochgezogen werden, damit der Messreifen nicht die Fahrbahnoberfläche berührt (siehe Abbildung 3-21).

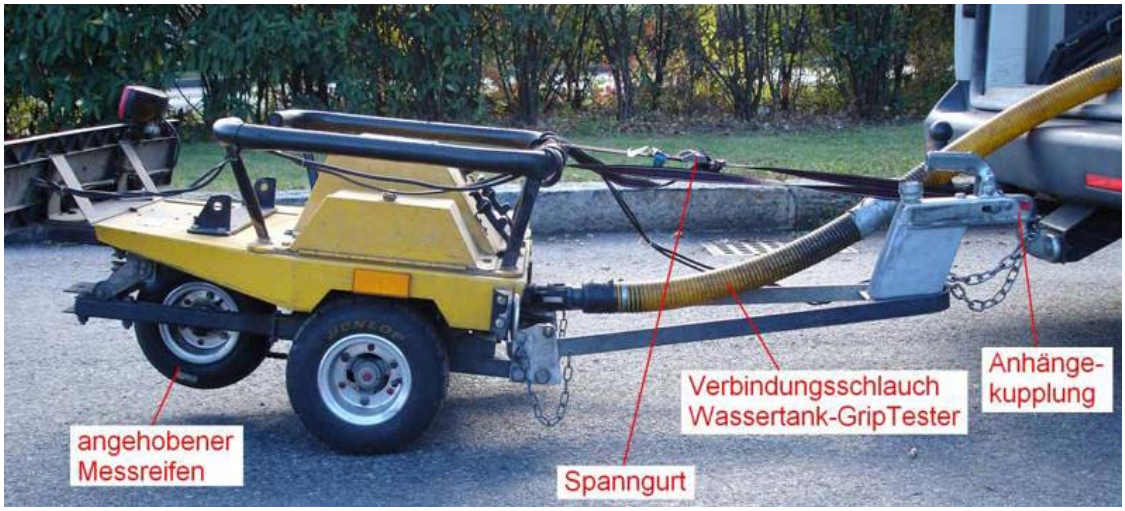


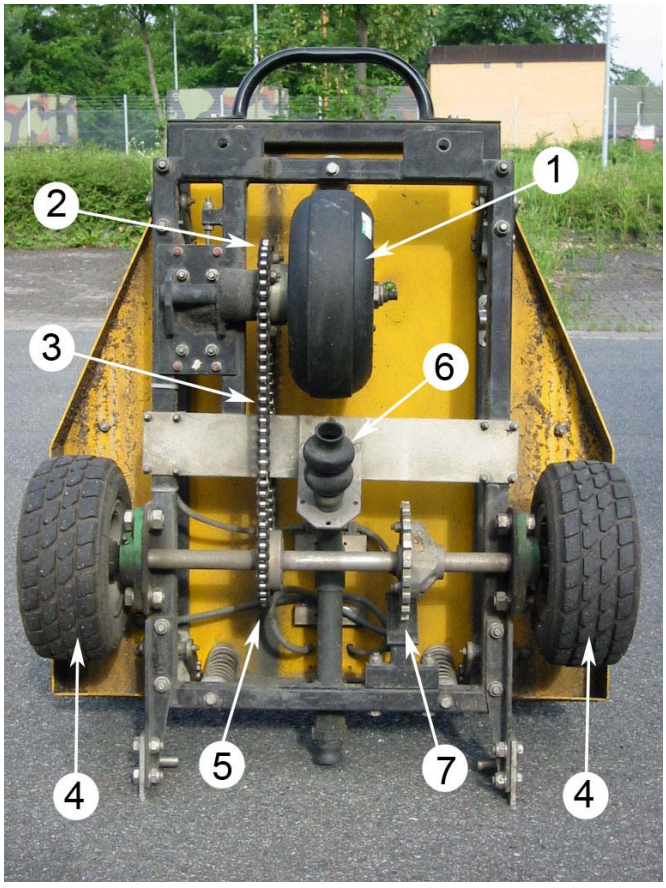
Abbildung 3-21: GripTester in Transportstellung [50]

3.4.3 Messprinzip

Die Ermittlung des Reibungsbeiwertes erfolgt nach dem Prinzip des definiert gebremsten und geradeaus laufenden Messrades mit einem kleinen Messreifen auf einer mit Wasser benetzten Oberfläche. Zur Erzeugung des konstanten Schlupfes befinden sich auf der Messradachse und der Laufradachse starr befestigte Zahnräder, welche mit einer Kette verbunden sind (siehe Abbildung 3-22).

Durch die unterschiedliche Größe der Zahnräder (Zahnverhältnis 27:32) entsteht eine Differenz der Winkelgeschwindigkeit zwischen dem Messrad und den Laufrädern. Daraus ergibt sich für das Messrad ein Schlupf von etwa 15 %. Infolge des konstanten Schlupfes wirkt während der Messfahrt in der Kontaktfläche Messreifen/Fahrbahn eine horizontale Längsreibungskraft. Gleichzeitig dazu wirkt auf das Messrad eine Vertikalkraft, die sich aus der statischen Last und den dynamischen Lasten während der Messfahrt zusammensetzt (ca. 250 N im Messbetrieb).

Durch diese in der Kontaktfläche Messreifen/Fahrbahn wirkenden Horizontal- und Vertikalkräfte wird die Messradachse durch die entstehenden Momente in zwei Richtungen elastisch verformt. Die Verformungsgrößen werden mittels Dehnmessstreifen, die auf dieser Achse appliziert sind (siehe Abbildung 3-23), erfasst und anschließend auf die in der Messreifenaufstandsfläche wirkenden Kräfte umgerechnet. Das neue GripTester Modell MK2 besitzt im Gegensatz zum alten MK1 zwei Messquerschnitte auf der Messradachse. Dadurch können auftretende Seitenkräfte bei der Kurvenfahrt (normal zur Fahrtrichtung) herausgerechnet werden, da hier Momentendifferenzen statt absolute Momente erfasst werden.



1 Messreifen
2 Großes Zahnrad (32)
3 Kette
4 Laufräder
5 Kleines Zahnrad (27)
6 Ausflussvorrichtung
7 Impulsgeber

Abbildung 3-22: Unterseite des GripTesters MK1

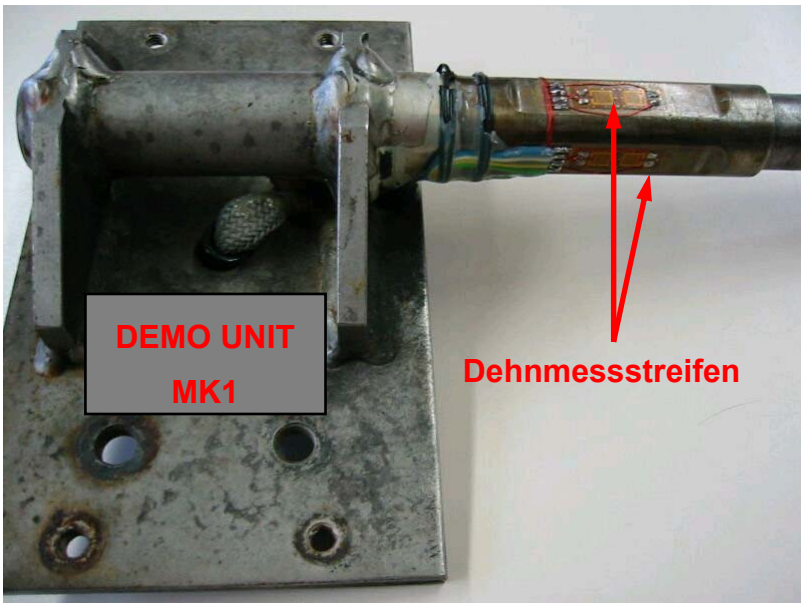


Abbildung 3-23: Messquerschnitt mit Dehnmessstreifen auf Messradachse MK1 [Findlay Irvine]

Durch Bildung des Quotienten aus Horizontal- und Vertikalkraft erhält man gemäß dem Coulomb´schen Reibungsgesetz den Reibungsbeiwert μ_{GT} (siehe Abbildung 3-24). An der Laufradachse befindet sich auch ein Impulsgeber zur Erfassung der Geschwindigkeit und der zurückgelegten Wegstrecke. Die ermittelten

Reibungsbeiwerte werden gemeinsam mit den zugehörigen Geschwindigkeits- und Wegstreckendaten an die Datenerfassungseinheit übertragen und im gewählten Aufzeichnungsintervall abgespeichert.

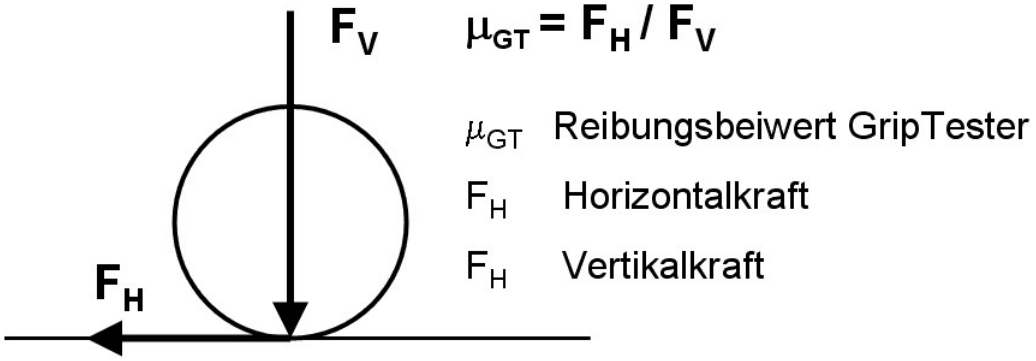


Abbildung 3-24: Ermittlung des Längsreibungsbeiwertes μ_{GT}

3.4.4 Einsatzbereich

Aufgrund der Konfiguration des Messsystems kann der GripTester sehr flexibel eingesetzt werden. Im Zugbetrieb kann auf Straßen im fließenden Verkehr oder auf Flugpisten gemessen werden. Im Schiebebetrieb kann der GripTester auch auf für den Verkehr gesperrten bzw. im Zugbetrieb nicht erfassbaren Verkehrsflächen wie Kreuzungsbereiche, Rampen, Gehsteige und Fahrbahnmarkierungen eingesetzt werden.

3.5 Sonstige Messsysteme in Europa

3.5.1 Stuttgarter Reibungsmesser

Der erste Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) wurde in den 50er Jahren am Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren in Stuttgart entwickelt. Dieses Griffigkeitsmesssystem besteht aus einem Lkw mit einem Wassertank und einem am Heck auf einer Parallelogrammaufhängung montierten längslaufenden Messrad. Die Messungen werden mit einem blockierten Schlepprad auf einer angenässten Fahrbahnoberfläche durchgeführt.

Der SRM war lange Zeit in Österreich und Deutschland das Standardmessverfahren, wurde aber dann von RoadSTAR bzw. SCRIM abgelöst. Zurzeit wird der Stuttgarter Reibungsmesser nur in der Schweiz als Standardmessverfahren eingesetzt. Ursprünglich wurde der SRM nur mit einem blockierten Schlepprad betrieben, mittlerweile gibt es aber modifizierte Versionen (wie der RoadSTAR), welche auch Messungen mit verschiedenen Schlupfzuständen und auch in der rechten und linken Rollspur gleichzeitig ermöglichen [61] (siehe Abbildung 3-25).

Abbildung 3-25: Stuttgarter Reibungsmesser SRM [62]

Standardmäßig wird beim SRM die Vollbremsung ohne Anti-Blockier-System (ABS) simuliert, indem das Messrad während der Messfahrt bei konstanter Geschwindigkeit intermittierend blockiert wird. Die Zykluslänge beträgt dabei 25 m, davon werden 20 m blockierend gemessen und 5 m läuft das Messrad frei rollend ab (siehe Abbildung 3-26). Aus den letzten 15 m der blockierten Strecke wird der mittlere Reibungsbeiwert bestimmt. Die Radlast von ca. 3400 N wird durch einen reibungsarmen Pneumatikzylinder aufgebracht. Beim Griffigkeitsmessverfahren SRM wird somit die Längskraft am blockierten (100 % Schlupf) und geradeaus laufenden Messrad bestimmt [63].

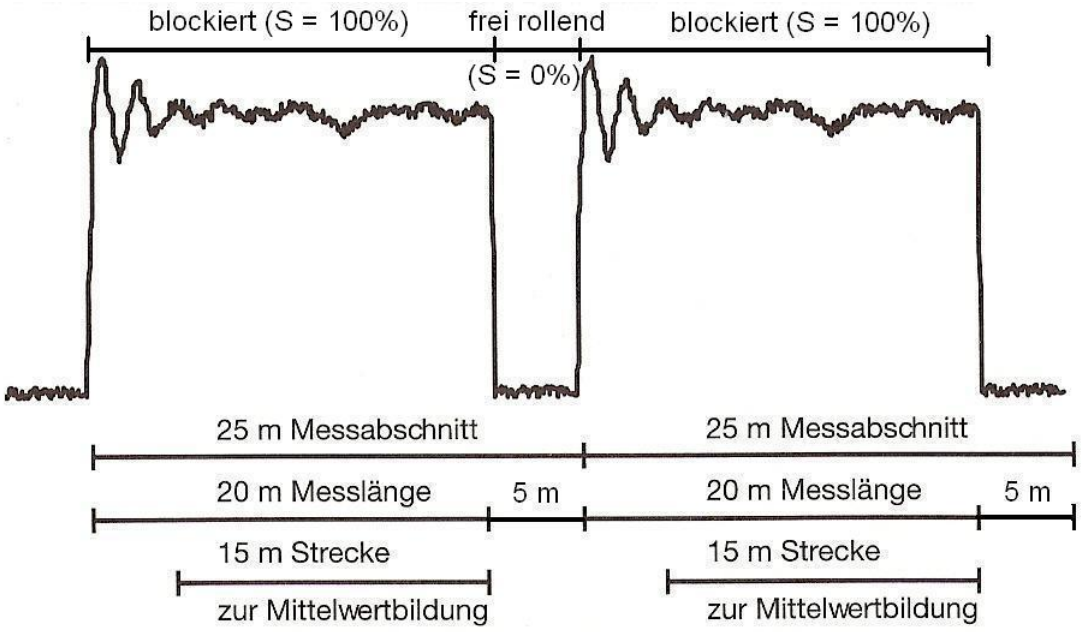


Abbildung 3-26: Messprinzip SRM [63]

Der SRM wird im Regelfall mit Messgeschwindigkeiten von 40, 60 oder 80 km/h betrieben, kann aber auch bis zu 120 km/h Messungen durchführen. Die Messleistung des Messsystems ist vor allem vom hohen Wasserverbrauch abhängig, da standardmäßig eine theoretisch rechnerische Wasserfilmdicke von 1,0 mm vor dem Messreifen aufgebracht wird. Mit einer Tankfüllung (3000 bis 4000 l) können ca. 15 km fortlaufend gemessen werden. Um die Messleistung zu erhöhen, ist es auch üblich, zwischen den Messungen Lücken zu lassen (z.B. 100 m Messung, 400 m Lücke). Mit diesem Ausdünnungsverhältnis können mit einer Tankfüllung dann Strecken bis zu 60 km erfasst werden [25]. Der aktuelle SRM der ETH Zürich kann mit dem 6000 l Wassertank ca. 50 km in einem Stück messen [62].

Während des blockierten Zustandes wird das Bremsmoment erfasst. Da der Radhalbmesser des Messrades bekannt ist, kann die zwischen Reifen und Fahrbahn übertragene Bremskraft aus dem Bremsmoment berechnet werden. Durch Bildung des Quotienten aus der Bremskraft und der bekannten Radlast erhält man gemäß dem Coulomb´schen Reibungsgesetz den Reibungsbeiwert μ_{SRM} (siehe Abbildung 3-27).

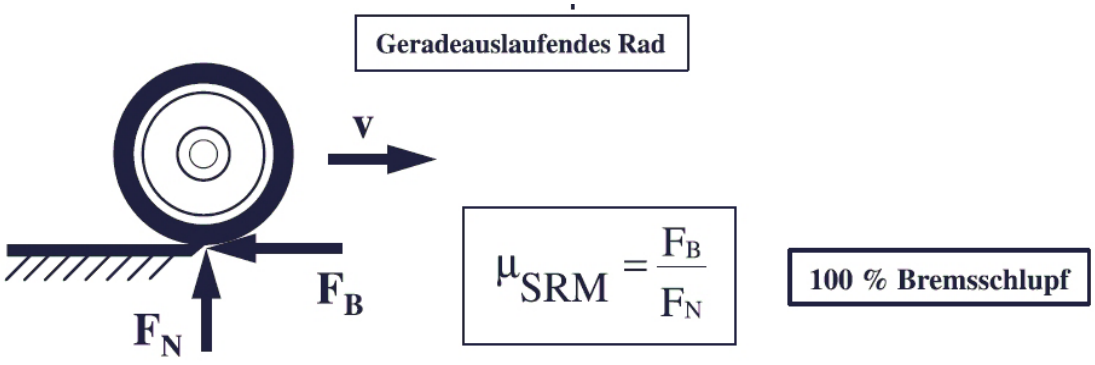


Abbildung 3-27: Ermittlung des Längsreibungsbeiwertes μ_{SRM} [63]

3.5.2 SCRIM bzw. SKM

Die Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Mashine (SCRIM) stammt ursprünglich aus England und wurde von der Firma WDM Limited unter der Lizenz von UK Transport Research Laboratory (TRL) entwickelt und patentiert. Es handelt sich um ein kommerzielles Lkw-Fahrgestell, das mit einem großen Wassertank samt Bewässerungssystem und einem schräglaufenden Messrad im Bereich der Rollspur des Fahrzeuges angeordnet ist. Dieses Messsystem ist Aufgrund der großen Tageskilometerleistung von 200 bis 300 km international weit verbreitet.

Abbildung 3-28: Seitenkraftmessverfahren SKM [64]

Mittlerweile gibt es aber schon einige unterschiedliche Geräte, die alle unter dem Sammelbegriff SCRIM zusammengefasst werden, obwohl die Geräte sich gegenüber dem Original durch technische Modifikationen verändert haben [65]. Im Jahr 2006 entschied sich Deutschland deshalb, die über 15 vorhandenen Messgeräte nicht mehr als SCRIM, sondern als Seitenkraftmessverfahren (SKM) zu bezeichnen. In Deutschland werden einerseits eigens produzierte Messreifen [42] eingesetzt und die Griffigkeitsmesseinrichtung wurde mit speziellen Stossdämpfern ausgerüstet (siehe Abbildung 3-28).

Während der Messung wird die Messspur in einem ganz schmalen Bereich mit einer rechnerischen Wasserfilmdicke von 0,5 mm in Deutschland und 2,0 mm in

Großbritannien angenässt. Die üblichen Messgeschwindigkeiten in Deutschland betragen 40, 60 und 80 km/h, in Großbritannien wird vorzugsweise mit 50 km/h gemessen. Der Seitenkraftbeiwert wird mit einem unter 20° schräg laufenden Messrad ermittelt und die gemessene Seitenkraft im Verhältnis zur aufgebrachten Normalkraft von 1960 N gesetzt (siehe Abbildung 3-29). Die Messung der Seitenkraft erfolgt dabei kontinuierlich [43].

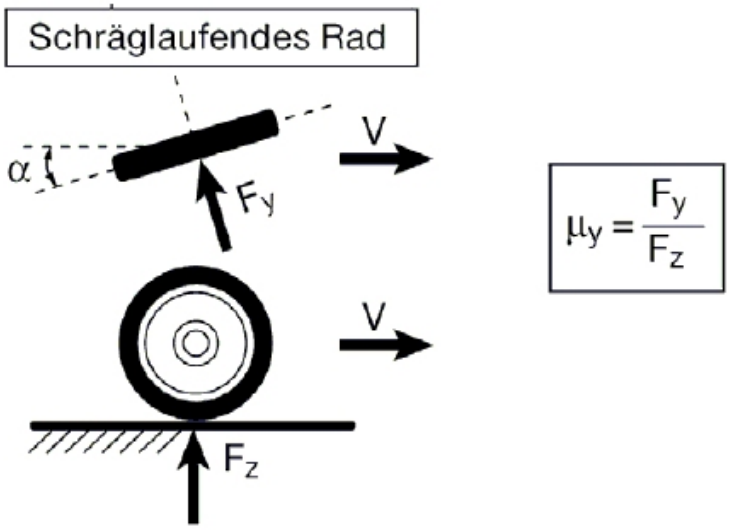


Abbildung 3-29: Ermittlung des Seitenkraftbeiwertes μ_y [43]

Als neueste Variante wurde in Deutschland auch das Mini-SKM (siehe Abbildung 3-30) entwickelt, das den Einsatz dieses Messverfahrens auch auf Verkehrsflächen zulässt, die für einen Lkw nicht zugängig sind (z.B. Fußwege, Radwege). Dieses Fahrzeug ist ca. 1,5 m breit, 3,3 m lang und 1,8 m hoch und kann Messungen mit Geschwindigkeiten von 20 km/h bis 60 km/h ausführen. Mit dem inkludierten 200 l Wassertank können ca. 6 km durchgehend gemessen werden. Die Aufnahme dieses Messgerätes in das deutsche Regelwerk zur Griffigkeitsmessung ist zurzeit in Bearbeitung [66].

Abbildung 3-30: Seitenkraftmessverfahren Mini-SKM [66]

3.5.3 ROAR

Das Messverfahren Road Analyzer and Recorder (ROAR) wird von der Firma Norsemeter Friction AS produziert. Es ist vorwiegend in Norwegen, Dänemark und den Niederlanden im Einsatz, wo es aber mit unterschiedlichen Betriebszuständen verwendet wird. Der ROAR kann auf einem Anhänger, der von einem Zugfahrzeug gezogen wird, oder direkt auf einem Lkw befestigt werden (siehe Abbildung 3-31). Der Messanhänger mit dem ROAR hat eine Gesamtlänge von 3,53 m, eine Breite von 1,72 m und eine Höhe von 1,40 m. Die Messeinheit mit dem Messrad kann auf einer Verstellschiene an der Rückseite des Messanhängers auf verschiedene Positionen versetzt werden und ermöglicht somit die Messung auf unterschiedlichen Bereichen der Fahrbahnoberfläche. Bei der Montage auf einem Lkw wird die Messeinheit im Regelfall in der Rollspur des Fahrzeuges montiert. Das Gewicht des Messanhängers beträgt 420 kg und der Wassertank fasst 500 l. Der Messreifen nach ASTM Standard, welcher mit 1200 N belastet wird, ist so montiert, dass er in Kurven seitenkraftfrei abläuft [67].

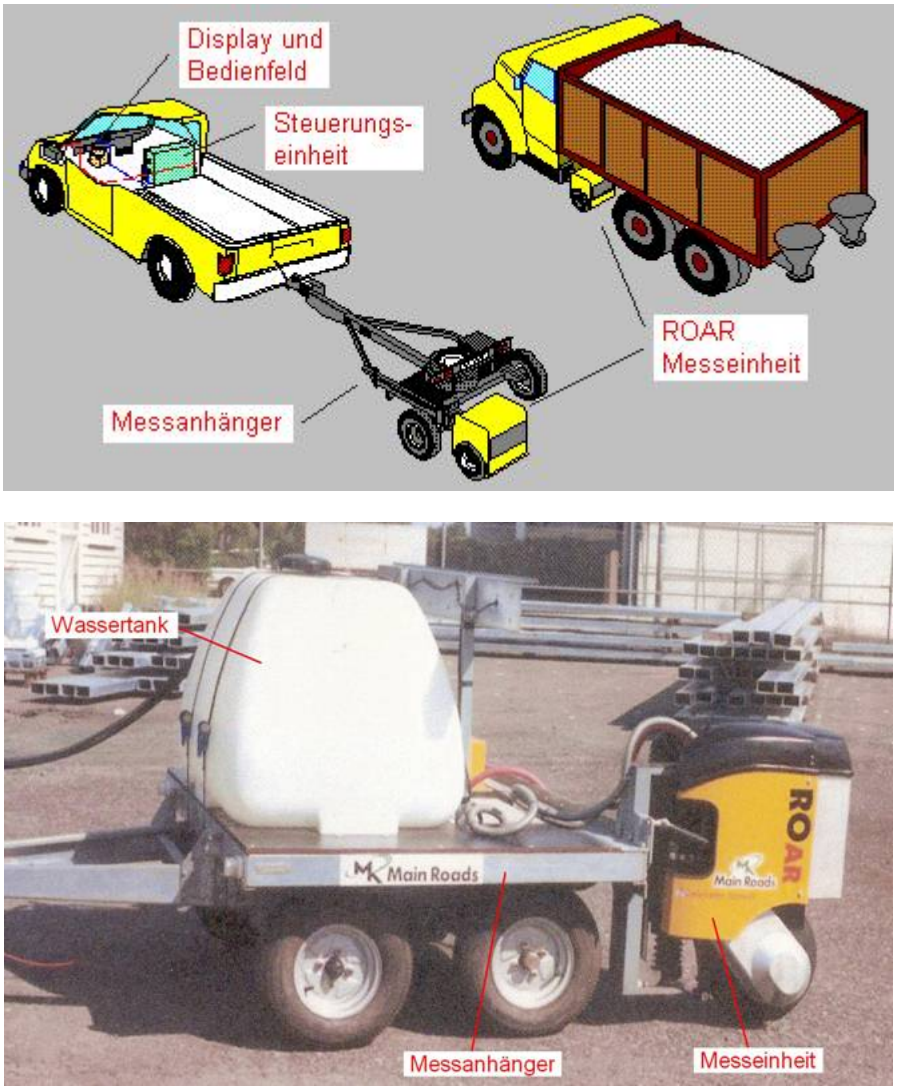


Abbildung 3-31: Messsystem ROAR [67] [68]

Dieses Messgerät ermöglicht Griffigkeitsmessungen mit konstantem oder variablem Schlupf von 5 % bis 95 % welcher über ein hydraulisches Bremssystem geregelt wird. Als Messgeschwindigkeit sind 20 km/h bis 80 km/h möglich und das Bewässerungssystem erzeugt theoretische Wasserfilmdicken von 0,0 mm bis 1,0 mm [67].

3.5.4 ADHERA

Das Messsystem ADHERA wird von der französischen Firma Vectra in Lizenz von LCPC vertrieben und vorwiegend in Frankreich eingesetzt. Das Messsystem besteht aus einem Zugfahrzeug (inklusive Wassertank), einer Bewässerungseinheit für eine variable Wasserfilmdicke, einem Messanhänger und einer Datenerfassungseinheit. Der ca. 300 kg schwere einrädrige Messanhänger hat eine Länge von 2,55 m und einer Breite von 1,10 m [69].

Der Längsreibungsbeiwert (BFC – Braked Force Coefficient) wird mit einem blockiertem Messreifen (100 % Schlupf), welcher mit 2500 N belastet wird, ermittelt. Als Messreifen werden standardmäßig profillose PIARC-Messreifen verwendet, aber es können auch konventionelle Pkw-Reifen montiert werden. Der ADHERA kann mit Messgeschwindigkeiten von 40 km/h bis 120 km/h und mit einer theoretischen Wasserfilmdicke von 1,0 mm betrieben werden. Während des Messvorganges wird der Messreifen alle 100 m für 20 m blockiert [69].

Abbildung 3-32: ADHERA Messanhänger [70]

3.5.5 Tatra Runway Tester

Der ursprüngliche Tatra Runway Tester (TRT) der Firma Tatra Koprivnice wurde bis 1996 in einem handelsüblichen Pkw Tatra 613 eingebaut, bei dem die Rückbank entfernt und die Bodenplatte ausgeschnitten wurde (siehe Abbildung 3-33). Durch das Loch konnte ein Flugzeugreifen abgesenkt werden. Heute wurde dieses Messverfahren bereits in moderne Fahrzeuge integriert, die technischen Komponenten der Griffigkeitsmesseinrichtung blieben jedoch unverändert und sind nicht lizenziert (siehe Abbildung 3-34). Haupteinsatzbereich des TRT sind Flugbetriebsflächen in Tschechien.

Abbildung 3-33: Original Tatra Runway Tester TRT

Abbildung 3-34: Tatra Runway Tester TRT [17]

Die Griffigkeitsmessung kann mit konstantem (25 %) oder variablem Schlupf von 0 % bis 100 % erfolgen, welcher über eine hydrostatische Übersetzung von der Kurbelwelle des Fahrzeugmotors geregelt wird. Als Messreifen wird heute ein Reifen nach ASTM Standard verwendet, welcher mit 250 N bis 1450 N belastet werden kann. Der TRT kann die Messungen mit Messgeschwindigkeiten von 40 bis 140 km/h durchführen. Zur Bewässerung der Fahrbahn befindet sich im Fahrzeug ein 400 l Wassertank. Mit einer Wasserfilmdicke von 1,0 mm können ca. 5 km gemessen werden [17].

3.5.6 DWW Trailer

Der DWW Trailer ist ein eigentumsrechtlich geschütztes Messgerät des Dienst Wegen Waterbouwkunde (DWW) in Rijkswaterstaat in den Niederlanden, der unter Lizenz produziert und hauptsächlich in den Niederlanden eingesetzt wird. Dieser Anhänger mit zwei Laufrädern und einem Messrad (siehe Abbildung 3-35) lässt sich in Verbindung mit unterschiedlichen Zugfahrzeugen mit integriertem Bewässerungssystem verwenden.

Die Griffigkeit wird mit einem profilosen PIARC-Messreifen erfasst, welcher mit 1960 N belastet wird und mit einem konstanten Schlupf von 86 % abrollt. Standardmäßig werden die Messungen mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h und einer theoretischen Wasserfilmdicke von 0,5 mm durchgeführt [17].

Abbildung 3-35: DWW-Trailer [17]

3.5.7 Skiddometer Trailer

Der Skiddometer Trailer (siehe Abbildung 3-36) wurde vom schwedischen Straßen- und Transportforschungsinstitut (VTI – Statens väg-och transportforsknings-institut) entwickelt. Dieses Griffigkeitsmesssystem kommt vor allem in Schweden und weltweit auf Flugbetriebsflächen (auch in Wien) zum Einsatz. Bis Mitte der neunziger Jahre wurde es auch in der Schweiz eingesetzt, aber dann vom SRM abgelöst [61].

Es handelt sich um einen einachsigen Anhänger mit zwei Laufrädern und einem Messrad (Gesamtlänge 2,45 m, Gesamtbreite 1,40 m, Gesamtgewicht 400 kg). Die beiden äußeren Räder dienen als Laufräder, die dem System die seitliche Stabilität geben. Der Messanhänger besitzt ein gefedertes Chassis mit niedrigem Schwerpunkt, abrupte Kurvenfahrten und Messgeschwindigkeiten von 20 km/h bis 160 km/h sind daher kein Problem. Das Zugfahrzeug muss aufgrund des hohen Gewichts des Messanhängers eine entsprechende Motorleistung aufweisen und auch ein Bewässerungssystem mit Wassertank integriert haben. Für Standardmessungen auf Straßen wird vor dem Messreifen eine rechnerische Wasserfilmdicke von 0,5 mm aufgebracht, für Flughafenmessungen ist aber auch eine Wasserfilmdicke von 1,0 mm einstellbar [20] [71] [72].

Der längs laufende Messreifen (ASTM, PIARC, oder Trellborg T49) ist zwischen den beiden Laufrädern angeordnet. Der Schlupf kann über ein System von elektromagnetischen Bremsen und Kupplungen wahlweise variiert werden (konstanter Schlupf oder blockiert) und beträgt im Regelfall 17 %. Durch Erfassung des Drehmomentes mittels Dehnmessstreifen kann die Reibungskraft in der Grenzfläche zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche gemessen werden. Das Verhältnis der gemessenen Reibungskraft zur statischen vertikalen Radlast von 1000 N ergibt dann den Reibungsbeiwert [20] [71] [72].

Abbildung 3-36: Skiddometer Trailer [71]

3.5.8 Portable Friction Testers

VTI

Der VTI Portable Friction Tester (siehe Abbildung 3-37) wurde vom schwedischen nationalen Straßen- und Transportforschungsinstitut (VTI – Statens väg-och transportforskningsinstitut) entwickelt. Dieses 35 kg schwere Messgerät wurde primär für Messungen auf Bodenmarkierungen konzipiert, eignet sich aber auch für Fußgängerzonen, Radwege, Bushaltestellen, Parkplätze und Helidecks.

Abbildung 3-37: VTI Portable Friction Tester [73]

Die Griffigkeitsmessung erfolgt im Schiebebetrieb bei einer Messgeschwindigkeit von 0,5 ± 0,1 m/s (ca. 1,8 km/h) und ohne zusätzliche Wasseraufbringung vor dem Messreifen. Der Reibungsbeiwert wird bei einem konstanten Schlupf von 25 % und einer Last von 125 N auf den Messreifen ermittelt. Am Display kann man den minimalen, mittleren und maximalen Reibungsbeiwert, die Standardabweichung, die Abschnittsdistanz, die Abschnittsnummer, die Durchschnittsgeschwindigkeit und die restliche Messdistanz ablesen. Die minimale Messdistanz beträgt 0,1 m und die maximale Messdistanz beträgt 175 m [73].

T2GO

Der T2GO Portable Friction Tester (siehe Abbildung 3-38) wurde von der schwedischen Firma ASFT (Airport Surface Fiction Tester) Industries AB entwickelt und konstruiert. Mit diesem Messgerät kann man auf trockener oder nasser Oberfläche Griffigkeitsmessungen im Schiebebetrieb durchführen. Durch das geringe Gewicht und den einfachen Transport eignet sich das Messgerät für den Einsatz auf Bodenmarkierungen, Fußgängerzonen, Radwege, Bushaltestellen, Parkplätzen und Helidecks.

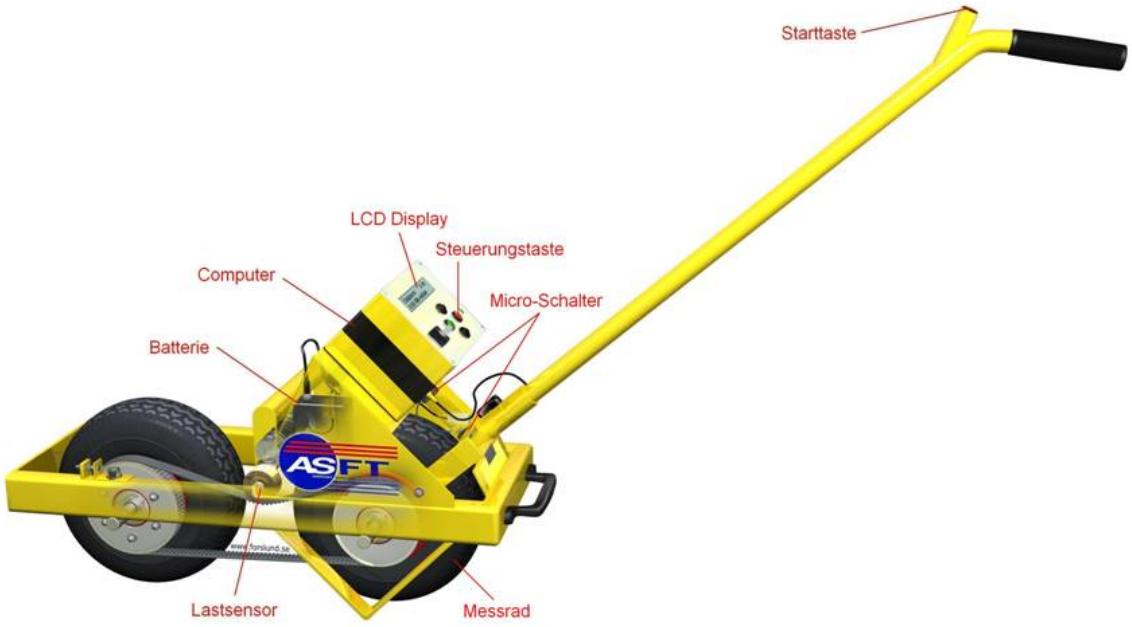


Abbildung 3-38: T2GO Portable Friction Tester [74]

Das Messgerät T2GO misst die Griffigkeit bei einem konstanten Schlupf von 20 %. Am Display kann man die kontinuierlichen Griffigkeitsmesswerte und die gemessene Distanz ablesen. Mittels Bluetooth-Technologie kann der On-Board-Computer einfach mit einem PDA (Personal Digital Assistant, das ist ein tragbarer Computer) verbunden werden und so die ASFT View Compatible Software nutzen. Diese Option bietet dem Bediener zusätzliche Daten wie GPS-Position, Straßenname, Temperatur, Datum und Zeit an. Alle diese Informationen können in verschiedenen Datenbanken und Management Informationssystemen auf einem PC oder Laptop gespeichert werden [74].

4 Richtlinien zu Griffigkeitsanforderungen und Griffigkeitsmessungen

Für die unterschiedlichen Griffigkeitsmesssysteme wurden in einigen Ländern bereits Richtlinien und Vorschriften für die einheitliche Messdurchführung und Beurteilung der Griffigkeit entwickelt. In diesem Kapitel werden alle wesentlichen und aktuellen Regelungen zur Griffigkeit in Österreich, Deutschland und Großbritannien sowie auf europäischer Ebene erläutert und gegenübergestellt. Großbritannien ist deshalb von Interesse, da dort das erste Regelwerk für Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester entwickelt wurde, welches heute weltweit in vielen Ländern als Grundlage herangezogen wird. Österreich und Deutschland haben aber seit kurzem auch eigene Regelwerke für den Einsatz des GripTesters veröffentlicht. Die Bestimmungen für Griffigkeitsmessung auf Flugpisten werden ebenfalls angeführt, da diese international gültig sind und auch hier der GripTester schon lange zugelassen ist.

Anhand dieser Zusammenstellung soll gezeigt werden, wie der GripTester in den jeweiligen Ländern bei der Zustandserfassung der Griffigkeit eingebunden ist und wie die Messergebnisse bewertet werden. Im nachfolgenden Kapitel 5 werden dann alle Richtlinien, welche nur den GripTester betreffen, detailliert gegenübergestellt.

4.1 Österreich

In Tabelle 4-1 sind die aktuellen Anforderungen an die Griffigkeit und Prüfvorschriften für die Griffigkeitsmessung zusammengestellt, deren Inhalte in den nachfolgenden Punkten erläutert werden. Wie zu sehen ist, sind in Österreich drei Messverfahren etabliert, der RoadSTAR, das SRT-Pendel und der GripTester. Allerdings gibt es nur einen Bewertungshintergrund für den RoadSTAR. Das SRT-Pendel ist nur als Ersatzmaßnahme für RoadSTAR Messungen bei Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen und für Griffigkeitsmessungen auf Bodenmarkierungen vorgesehen. Für den GripTester gibt es bis dato keine offizielle Bewertungsmöglichkeit.

Tabelle 4-1: Österreichische Richtlinien – Griffigkeitsanforderungen und Griffigkeitsmessungen

Griffigkeit				Straßenkategorie	
Kategorie	**Anforderung**	**Prüfung**	**Messgröße**	**A+S**	**Landesstraßen B+L**
Abnahme-prüfung	BMVIT RVS 08.16.01 RVS 08.17.02	RVS 11.06.65 (ÖN B 3591)	μ-RoadSTAR [-]	Sollwert ≥ 0,59 (- 0,03) Qualitätsabzug < 0,56 Maßnahme ≤ 0,45 Sofortmaßnahme ≤ 0,38	keine Anforderungen
Gewährleistungs-prüfung	BMVIT RVS 08.16.01 RVS 08.17.02	RVS 11.06.65 (ÖN B 3591)	μ-RoadSTAR [-]	Sollwert ≥ 0,52 (- 0,03) Fristverlängerung ≤ 0,49 Maßnahme ≤ 0,45	keine Anforderungen
Ersatzprüfung für RoadSTAR bei Kleinmaßnahme	BMVIT RVS 08.17.02	EN 13036-4 EN 13036-3	PTV [-] Ausflußzeit [s]	Sollwert ≥ 60 Sollwert ≤ 30	keine Anforderungen
Zustands-erfassung Pavement Management	RVS 13.01.15	RVS 11.06.65 (ÖN B 3591)	μ-RoadSTAR [-]	Klasse 1 > 0,75 Klasse 2 ≤ 0,75 Klasse 3 ≤ 0,59 Klasse 4 ≤ 0,45 Klasse 5 ≤ 0,38	keine Anforderungen
Zustands-erfassung	-	RVS 11.06.71	μ-GripTester [-]	Bewertungsvorschlag siehe Kapitel 10	
Boden-markierungen	RVS 05.03.12 EN 1436	EN 13036-4	PTV [-]	Klasse S1: Sollwert ≥ 45	

4.1.1 RVS 08.16.01 und RVS 08.17.02

Die RVS 08.16.01 „Anforderungen an Asphaltschichten“ [3] und RVS 08.17.02 „Betondecken – Deckenherstellung“ [4] regeln die Griffigkeitsanforderungen und Messdurchführung zum Zeitpunkt der Abnahme und zum Ende der Gewährleistungsfrist für Autobahnen und Schnellstraßen. Die Regelungen wurden dabei aus den „Ergänzenden Vertragsbestimmungen – Griffigkeitsanforderungen für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt und Beton“ des BMVIT [2] entnommen, welche ab dem 01.01.2005 verbindlich erklärt wurden. Leider wurden mit Veröffentlichung der beiden RVS Anfang des Jahres 2007 nicht alle Inhalte voll übernommen bzw. etwas abgeändert, weshalb nachfolgend die wesentlichsten Passagen aus dem originalen Dokument des BMVIT zitiert werden.

Messgerät und Messanordnung

Die Griffigkeit der fertigen Deckschicht ist mit dem modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser, System RoadSTAR gemäß RVS 11.06.65 [5] zu ermitteln. Die Messung ist durchgehend in Längsrichtung in der rechten Radspur des jeweiligen Fahrstreifens mit einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h und einer rechnerischen Wasserfilmdicke von 0,5 mm durchzuführen. Bei Fahrbahnen, die mit mehreren Fertigerbahnen hergestellt wurden, genügt eine Messung pro Fertigerbahn.

Zeitpunkt der Messungen

Griffigkeitsmessungen für die Abnahmeprüfung sind bis 12 Wochen nach der Verkehrsfreigabe durchzuführen.

Für die Feststellung der Gewährleistungsansprüche sind die Griffigkeitsmessungen in einem Zeitraum von 16 Wochen bis 4 Wochen vor dem Ende der Gewährleistungsfrist durchzuführen.

Griffigkeitsverbessernde Maßnahmen im Rahmen der Gewährleistung oder Haftung sind innerhalb von 8 Wochen nach deren Durchführung auf Kosten des Auftragnehmers durch eine neuerliche Messung zu überprüfen.

Wenn die standardisierten Messbedingungen laut RVS 11.06.65 jahreszeitlich bedingt nicht eingehalten werden können, ist die Griffigkeitsmessung bis zum 31. Mai des Folgejahres unter Wahrung der Haftungsansprüche durchzuführen.

Anforderungen

Der Grenzwert für die Griffigkeit eines 50-m-Abschnittes ist festgelegt:

- für die Abnahmeprüfung mit $\mu_{RS} = 0{,}59$,
- für die Gewährleistungsprüfung mit $\mu_{RS} = 0{,}52$.

Unterschreiten die Reibungsbeiwerte von einzelnen 50-m-Abschnitten den jeweiligen Grenzwert um mehr als $\mu_{RS} = 0{,}03$, ist unmittelbar nach der Erstmessung eine zweite Messung auf den negativen Abschnitten durchzuführen. Liegen die Messergebnisse innerhalb der Wiederholbarkeit, ist das endgültige Ergebnis der Mittelwert dieser beiden Messungen. Wenn die Messergebnisse außerhalb der Wiederholbarkeit liegen, ist auf Kosten des Betreibers des Messgerätes eine weitere Messung durchzuführen. Das endgültige Ergebnis ist der Mittelwert der beiden Messungen, die innerhalb der Wiederholbarkeit liegen. Unterschreiten einzelne 50-m-Abschnitte den jeweiligen Grenzwert dann noch immer um mehr als $\mu_{RS} = 0{,}03$, so liegt ein Mangel vor.

Mangel bei Abnahme

Ist das Messergebnis $\mu_{RS} \leq 0{,}38$, so sind unverzüglich vom Erhalter im Wege der Verkehrsbehörde verkehrsbeschränkende Maßnahmen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit zu setzen.

Ist das Messergebnis $\mu_{RS} \leq 0{,}45$, so erfolgt grundsätzlich keine Übernahme und der Auftragnehmer hat Maßnahmen zur Herstellung einer übernahmefähigen Griffigkeit zu setzen. Die Übernahme erfolgt erst wenn ein Reibungswert $\mu > 0{,}45$ gegeben ist.

Liegt das Messergebnis im Bereich $0{,}45 < \mu_{RS} < 0{,}56$ so sind im Einvernehmen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer entweder griffigkeitsverbessernde Maßnahmen vorzunehmen oder ein Qualitätsabzug zur Anwendung zu bringen.

Mangel am Ende der Gewährleistungsfrist

Ist das Messergebnis $\mu_{RS} \leq 0{,}49$, so erfolgt grundsätzlich keine Schlussfeststellung und die Gewährleistung hinsichtlich der Griffigkeit ist um zwei Jahre zu verlängern.

Liegt das Messergebnis bei $\mu_{RS} \leq 0{,}45$, hat der Auftragnehmer im Einvernehmen mit dem Auftraggeber Maßnahmen zur Herstellung einer übernahmefähigen Griffigkeit zu setzen.

Ersatzprüfung bei Kleinmaßnahmen

Bei Bauloslängen < 500 m kann der Auftraggeber auf die Messungen mit dem Griffigkeitsmesssystem RoadSTAR verzichten. Als Entscheidungshilfe wird eine kombinierte Messung der Griffigkeit mit dem SRT-Pendel gemäß EN 13036-4 [51] und dem Ausflussmesser nach Moore gemäß EN 13036-3 [75] empfohlen. Dabei sind folgende Richtwerte einzuhalten:

- SRT-Wert PTV ≥ 60 *(wurde von ursprünglich 65 abgeändert)*
- Ausflusszeit ≤ 30 s

Wird einer dieser beiden Werte nicht eingehalten, so ist die Griffigkeit dieses Bauloses jedenfalls mit dem System RoadSTAR nachzuweisen.

4.1.2 RVS 11.06.65

Die RVS 11.06.65 „Griffigkeitsmessungen mit dem System RoadSTAR“ [5] ist für die Messung der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen und sonstigen Verkehrsflächen mit dem modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser anzuwenden. Sie Definiert das Messprinzip, das standardisierte Messverfahren, die Datenerfassung, die Qualitätssicherung und die Messgenauigkeit der Griffigkeitsmesseinrichtung.

4.1.3 RVS 11.06.71

Die RVS 11.06.71 „Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester“ [7] ist für die Messung der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen, sonstigen Verkehrsflächen und Fahrbahnmarkierungen mit dem Messsystem GripTester anzuwenden. Diese RVS Definiert das Messprinzip, die standardisierten Messverfahren für den Zug- und Schiebebetrieb, die Datenerfassung und Auswertung, die Qualitätssicherung und die Messgenauigkeit (siehe Kapitel 5).

4.1.4 RVS 13.01.15

Die RVS 13.01.15 „Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR“ [76] ist nur für die Zustandsbeurteilung im Autobahn- und Schnellstraßennetz anzuwenden und regelt die Beurteilung der Griffigkeitsmesswerte (50-m-Mittelwerte) welche mit dem Griffigkeitsmesssystem RoadSTAR gemessen wurden. Die Messergebnisse werden hier über eine Normierung in Zustandsklassen von 1 (Sehr Gut) bis 5 (Sehr Schlecht)

gemäß Tabelle 4-2 umgewandelt. Weiters sind in dieser Richtlinie der Zielwert (Grenze zwischen den Klassen 1 und 2), der Warnwert (Grenze zwischen den Klassen 3 und 4) und der Schwellenwert (Grenze zwischen den Klassen 4 und 5) für das Zustandsmerkmal Griffigkeit angegeben.

Tabelle 4-2: Zustandsklasseneinteilung Griffigkeit RoadSTAR für Straßenkategorie A+S [76]

RoadSTAR 60 km/h (50-m-Mittelwert)							
Klasse 1	**Zielwert**	**Klasse 2**	**Klasse 3**	**Warnwert**	**Klasse 4**	**Schwellen wert**	**Klasse 5**
> 0,75	0,75	≤ 0,75	≤ 0,59	0,45	≤ 0,45	0,38	≤ 0,38

Bei der Standardmessgeschwindigkeit des RoadSTAR von 60 km/h beträgt der Warnwert μ_{RS} = 0,45 und der Schwellenwert μ_{RS} = 0,38. Wird im Rahmen einer Zustandserfassung der Warnwert unterschritten, so ist im betreffenden Abschnitt eine Unfalluntersuchung durchzuführen. Ergibt sich hier eine erhöhte Unfallgefährdung im Konnex mit der Griffigkeit, so sind verkehrsrechtliche oder bauliche Maßnahmen zu setzen. Ansonst ist dem Abschnitt eine erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen und gegebenenfalls sind die Messintervalle zu verkürzen. Bei Unterschreitung des Schwellenwertes sind unabhängig von der Unfallentwicklung sofort verkehrsrechtliche oder bauliche Maßnahmen notwendig.

4.1.5 RVS 05.03.12

Die RVS 05.03.12 „Auswahl von Bodenmarkierungen“ [77] definiert unter anderem auch die Griffigkeitsanforderung an Bodenmarkierungen, welche im Regelfall der Klasse S1 gemäß EN 1436 [78] (siehe Tabelle 4-7) entsprechen muss und mit dem SRT-Pendel gemäß EN 13036-4 [51] zu prüfen ist.

4.1.6 ÖNORM B 3591

Die ÖNORM B 3591 „Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Bestimmung der Griffigkeit von Oberflächen durch die Messung des Griffigkeitskoeffizienten in Längsrichtung mit dem System RoadSTAR“ [79] enthält im Wesentlichen die gleichen Inhalte wie die RVS 11.06.65 [5] und soll diese zukünftig ersetzen, wurde aber um folgende Punkte erweitert:

- Begriffsbestimmungen
- Messungen mit verschiedenen Schlupfzuständen (18, 25, 50, 62,5 oder 100%) sowie mit ABS
- Toleranzbereiche für Messgeschwindigkeit, Radlast und Wasserfilmdicke
- Geschwindigkeitskorrekturformel (siehe Formel 7-2 in Kapitel 7.1)

4.1.7 Österreichischer Bewertungshintergrund Griffigkeit

Für die Entwicklung eines österreichischen Bewertungshintergrundes für das Zustandmerkmal Griffigkeit wurde im Jahr 1991 mit systematischen Messungen auf

Netzebene begonnen. In einem ersten Messdurchgang von 1991 bis 1996 wurden mit dem RoadSTAR insgesamt 12.200 km erfasst, wobei 100 % des Autobahn- und Schnellstraßennetzes und ca. 80 % der damaligen Bundesstraßen B (heute Landesstraßen B) gemessen wurden. Auf den Autobahnen und Schnellstraßen wurde je Richtungsfahrbahn der rechte Fahrstreifen und auf den B-Straßen nur in einer Fahrtrichtung gemessen. Zur Erstellung des Bewertungshintergrundes wurde die Verteilung der Reibungsbeiwerte des gesamten Messprogramms statistisch analysiert, sowie die Geschwindigkeitsabhängigkeit für 40, 60, 80, und 120 km/h ermittelt. Die gemessenen Reibungsbeiwerte wurden dann über eine Häufigkeitsverteilung in fünf Griffigkeitsklassen eingeteilt. Die Klasseneinteilung erfolgte in Anlehnung an die Vorgangsweise in der BRD [80]. Dabei wurde festgelegt, dass maximal 5 % des Straßennetzes eine sehr schlechte Griffigkeit aufweisen dürfen. Für die Klassen „Schlecht“, „Ausreichend“, „Gut“ und „Sehr gut“ wurden die oberen Fraktilen mit 10 %, 30 %, 70 % und 100 % festgelegt. Aus der Summenhäufigkeitsverteilung aller gemessenen Reibungsbeiwerte wurde der österreichische Bewertungshintergrund 1996 abgeleitet [81] [82] [83] [84] [85] (siehe Abbildung 4-1).

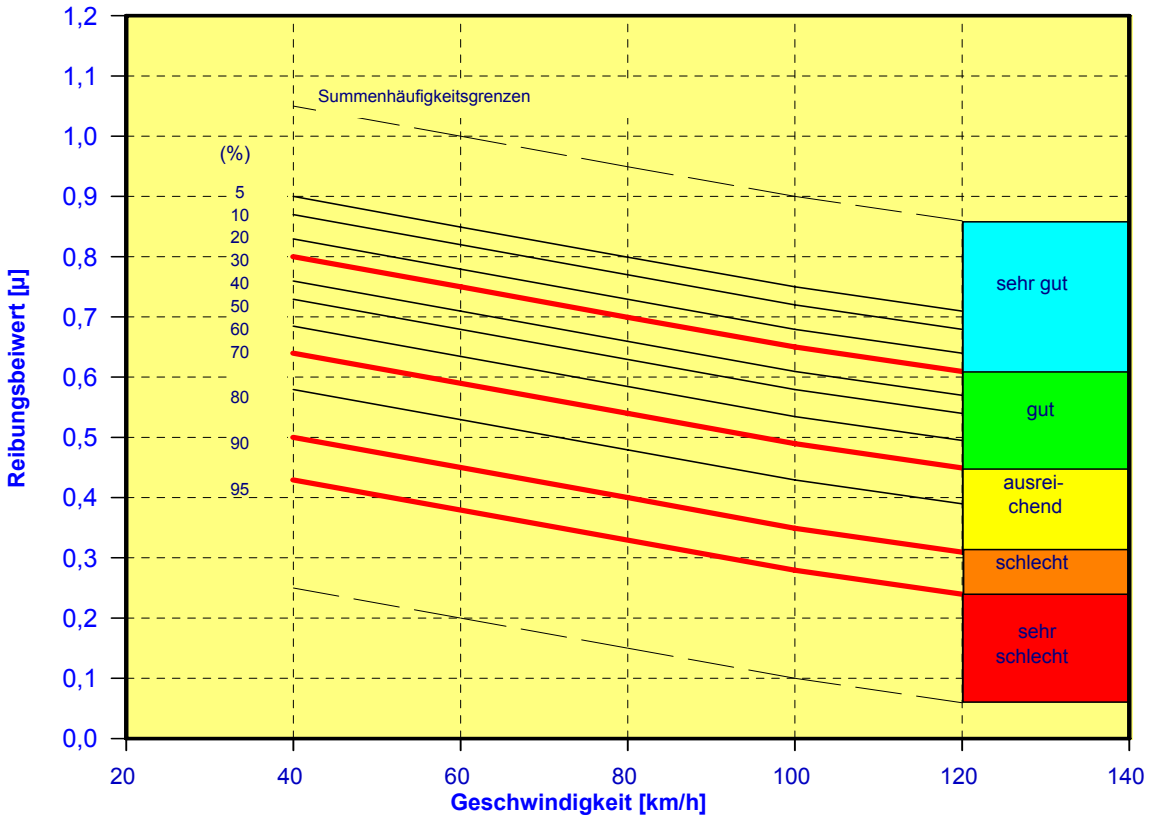


Abbildung 4-1: Österreichischer Bewertungshintergrund 1996 Griffigkeit für Autobahnen, Schnellstraßen und Landesstraßen B [46]

Die letzten Messkampagnen zeigten aber [86], dass auf dem österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz das Griffigkeitsniveau mittlerweile weitaus besser ist, als bei der damaligen Erstellung des Bewertungshintergrundes. Nur mehr 10 % des Netzes sind schlechter als die Klasse „Gut“, und Griffigkeitsmängel treten vorwiegend bei Tunnelstrecken auf [87].

Weiters wurde im Rechtsgutachten von *Bartelsberger* [88] festgehalten, dass Grenzwerte bzw. Schwellenwerte für die Griffigkeit nicht aufgrund einer Häufigkeitsverteilung festgelegt werden sollten, sondern vielmehr durch wissenschaftliche Überlegungen bezüglich der Verkehrssicherheit.

Daher gibt es schon länger Bestrebungen, die Klasseneinteilung nach einer „notwendigen" Griffigkeit festzulegen. Diesbezüglich wurden von arsenal research schon Untersuchungen durchgeführt, um den Bewertungshintergrund zu überarbeiten. In einem Forschungsvorhaben des BMVIT mit arsenal research [17] wurden Bremsversuche auf unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen mit Personenkraftfahrzeugen und verschiedenen Reifen ausgeführt. Die resultierenden Anhaltewege wurden anschließend mit den vorhandenen Griffigkeitswerten des RoadSTAR in Beziehung gebracht. Anhand sicherheitsrelevanter Überlegungen wurden daraus Grenzwerte für eine Mindestgriffigkeit entwickelt, um eine gewisse Mindestverzögerung zu erreichen. Basierend auf diesen fahrdynamischen Versuchen wurde ein Vorschlag für einen neuen Bewertungshintergrund vorgelegt (siehe Abbildung 4-2).

Die Grenzwerte für die Griffigkeitsklassen des Bewertungshintergrundes 1996 konnten anhand der aktuellen Anhalteweguntersuchungen großteils bestätigt werden, wenn als Basis eine Verlustzeit von 1,2 s, eine Pkw-Vollbremsverzögerung von 5 m/s² auf einer ebenen, nassen Fahrbahn und ein Sicherheitsfaktor von 7,5 % angenommen werden. Ausgenommen davon ist die Grenze zwischen den Klassen „Sehr Gut" und „Gut", welche von μ_{RS} = 0,75 auf μ_{RS} = 0,70 absinkt. Weiters wurde angeregt, die Geschwindigkeitsabhängigkeit von $\Delta\mu_{RS}$ = 0,0025 je km/h auf $\Delta\mu_{RS}$ = 0,003 je km/h anzuheben und nur für einen Geschwindigkeitsbereich von 30 km/h bis 60 km/h anzuwenden (siehe auch Kapitel 7.1).

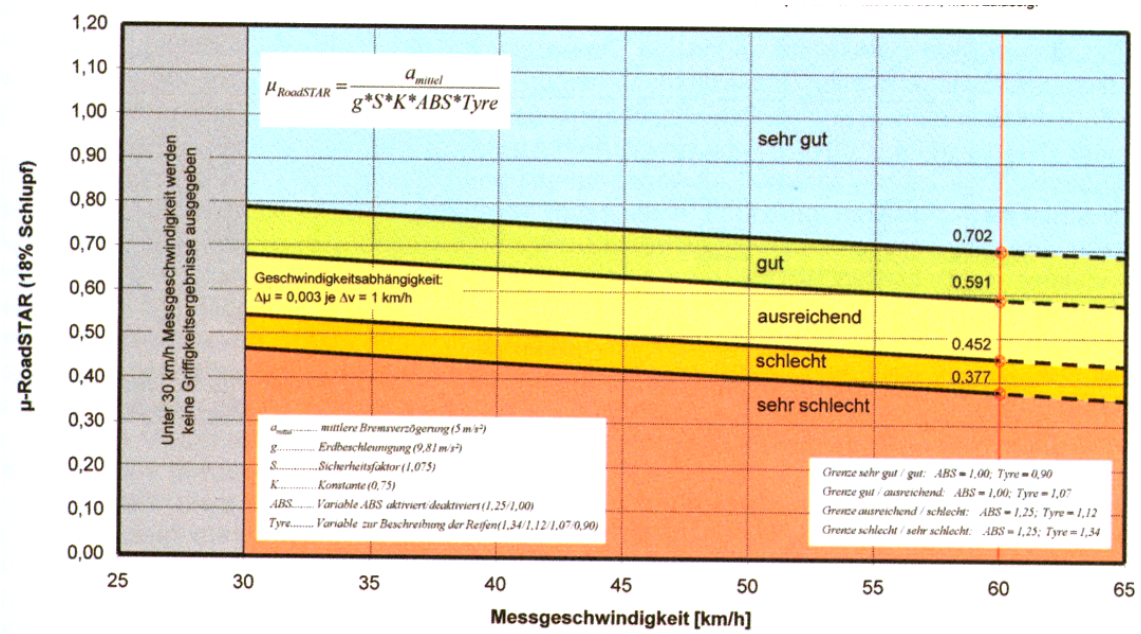


Abbildung 4-2: Adaptierter Österreichischer Bewertungshintergrund für Griffigkeitsmessungen mit dem RoadSTAR [17]

4.2 Deutschland

In Deutschland hat sich als Standardgriffigkeitsmessgerät das SKM und für Ersatzmessungen und zur Prüfung von Markierungen auf Straßen das SRT-Pendel durchgesetzt. Für beide Messgeräte sind auch Bewertungshintergründe vorhanden. Für zwei weitere Verfahren, den SRM und den GripTester sind Arbeitsanleitungen vorhanden, aber es gibt vorerst nur einen Bewertungshintergrund für den SRM. In Tabelle 4-3 sind die aktuellen Anforderungen und Prüfvorschriften zur Griffigkeit zusammengefasst, deren Inhalte in den nachfolgenden Punkten kurz erläutert werden.

Tabelle 4-3: Deutsche Richtlinien – Griffigkeitsanforderungen und Griffigkeitsmessungen

Griffigkeit				Bauklasse
Kategorie	**Anforderung**	**Prüfung**	**Messgröße**	**SV und I bis VI** [1)]
Abnahme-prüfung	ZTV Asphalt-StB ZTV Beton-StB	TP Griff-StB SKM	μ-SKM [-]	80 km/h ≥ 0,46 (- 0,03) 60 km/h ≥ 0,51 (- 0,03) 40 km/h ≥ 0,56 (- 0,03)
Ablauf der Verjährungsfrist	ZTV Asphalt-StB ZTV Beton-StB	TP Griff-StB SKM	μ–SKM [–]	80 km/h ≥ 0,40 60 km/h ≥ 0,45 40 km/h ≥ 0,49
Ersatzprüfung für SKM bei Abnahme	ZTV Asphalt-StB ZTV Beton-StB	TP Griff-StB SRT	PTV [-] Ausflußzeit [s]	Sollwert ≥ 60 Sollwert ≤ 30
Zustands-erfassung ZEB	ZTV ZEB-StB	TP Griff-StB SKM	μ-SKM [–]	siehe Kapitel 4.2.2
Verkehrs-sicherungspflicht	MB Griff	TP Griff-StB SKM AA SRM TP Griff-StB SRT AA LFC	μ-SKM [-] μ-SRM [-] PTV [-] μ-GripTester [-]	siehe Kapitel 4.2.7 siehe Kapitel 4.2.7 siehe Kapitel 4.2.7 keine Bewertungsmöglichkeit
Markierungen auf Straßen	ZTV M 02 EN 1436	EN 13036-4	PTV [-]	Klasse S1: Sollwert ≥ 45

[1)] Ausgenommen sind allerdings Wohnsammelstraßen, Anliegerstraßen, Fußgängerzonen, befahrbare Wohnwege, Rad- und Gehwege, sowie Parkflächen des kommunalen Straßenbaus

4.2.1 ZTV Asphalt-StB 01 und ZTV Beton-StB

Die „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt“ [89] und die „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“ [90] regeln die Griffigkeitsanforderungen für Straßen der Bauklasse SV und I bis VI. Ausgenommen

sind allerdings Wohnsammelstraßen, Anliegerstraßen, Fußgängerzonen, befahrbare Wohnwege, Rad- und Gehwege, sowie Parkflächen des kommunalen Straßenbaus.

Messgerät und Messanordnung

Die Griffigkeit ist mit dem Seitenkraftmessverfahren gemäß TP Griff-StB SKM [43] zu ermitteln. Die Messung ist durchgehend in Längsrichtung in der rechten Radspur des jeweiligen Fahrstreifens und in Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen mit einer Messgeschwindigkeit von 40, 60 oder 80 km/h und einer rechnerischen Wasserfilmdicke von 0,5 mm durchzuführen.

Zeitpunkt der Messungen

Die Prüfung der fertigen Deckschicht erfolgt für die Abnahme 4 bis 8 Wochen nach der Verkehrsfreigabe.

Anforderungen

Die Griffigkeit der fertigen Deckschicht der Bauklasse SV und I bis VI darf für das Seitenkraftmessverfahren (SKM) bei der Abnahme die nachfolgend angegebenen Grenzwerte für den Einzelwert eines 100-m-Abschnittes um nicht mehr als $\mu_{SKM} = 0{,}03$ unterschreiten:

- 80 km/h $\mu_{SKM} = 0{,}46$
- 60 km/h $\mu_{SKM} = 0{,}51$
- 40 km/h $\mu_{SKM} = 0{,}56$

Bis zum Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche werden folgende Grenzwerte festgelegt:

- 80 km/h $\mu_{SKM} = 0{,}40$
- 60 km/h $\mu_{SKM} = 0{,}45$
- 40 km/h $\mu_{SKM} = 0{,}49$

Mangel bei Abnahme

Bei Vorliegen eines Mangels kann der Auftragnehmer eine erneute Kontrollprüfung mit dem Messverfahren SKM verlangen, deren Kosten er tragen muss. Das Ergebnis der erneuten Kontrollprüfung tritt an die Stelle der ursprünglichen Prüfergebnisse. Werden bei der Abnahme Unterschreitungen um mehr als $\mu_{SKM} = 0{,}06$ festgestellt oder werden bei der erneuten Kontrollprüfung die Anforderungen an die Griffigkeit nicht erfüllt, hat der Auftragnehmer die Ursachen des Mangels festzustellen und dauerhaft wirksame griffigkeitsverbessernde Maßnahmen durchzuführen.

Mangel vor Ablauf der Verjährungspflicht

Ein Unterschreiten der Grenzwerte bis zum Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche beweist noch keinen Mangel. Der Auftraggeber hat in einem solchen Fall zu prüfen, ob das Unterschreiten der Grenzwerte der Auftragnehmer zu vertreten hat und somit zur Beseitigung des vorliegenden Mangels verpflichtet ist.

Ersatzprüfung bei Abnahme

Als Ersatzprüfung für SKM kann für die Abnahme, aber nicht für die Messungen vor Ablauf der Verjährungsfrist eine kombinierte Messung der Griffigkeit mit dem SRT-Pendel und dem Ausflussmesser nach Moore gemäß TP Griff-StB SRT [91] durchgeführt werden. Dabei sind folgende Richtwerte einzuhalten:

- SRT-Wert PTV ≥ 60
- Ausflusszeit ≤ 30 s

Wird einer dieser beiden Werte nicht erfüllt, so ist die Griffigkeit dieses Bauloses jedenfalls mit dem SKM nachzuweisen.

4.2.2 ZTV ZEB-StB

Die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen“ [92] gelten für die technischen Erfassungs- und Auswerteregeln für die messtechnische Zustandserfassung und -bewertung (ZEB). Sie enthalten Regelungen zur Vorbereitung, Durchführung, Auswertung, Bewertung und Qualitätssicherung der Zustandserfassung mit schnell fahrenden Messfahrzeugen.

Die bewertungsrelevanten Zustandsgrößen ZG (z.B. Längs-, Querebenheit, Spurrinnen, Griffigkeit) werden über Normierungsfunktionen in Zustandswerte ZW überführt. Dabei wird zwischen den Kategorien „Bundesautobahnen und Bundesstraßen“, „Ortsdurchfahrten“ und „Streckenbezogen“ unterschieden (siehe Tabelle 4-4) und die Eckwerte für das Merkmal Griffigkeit wurden aus dem Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe (siehe Kapitel 4.2.7) übernommen.

Tabelle 4-4: Normierungskennwerte Griffigkeit [92]

Kategorie	Zustandsgößen ZG	Zustandswerte ZW			Abschnitts-bildung
		1,5 Zielwert	3,5 Warnwert	4,5 Schwellenwert	
Bundesautobahnen und Bundesstraßen	GRI_80 (μ_{SKM})	0,53	0,39	0,32	100 m
	GRI_60 (μ_{SKM})	0,58	0,44	0,37	100 m
Ortsdurchfahrten	GRI_40 (μ_{SKM})	0,63	0,49	0,42	20 m
Streckenbezogen	μ_{SKM} [1)]	Anforderungen zu vereinbaren			100 m

[1)] Messgeschwindigkeit und Messlinie sind zu vereinbaren

Die ZG für die Griffigkeit sind im Rahmen der ZEB mit dem Seitenkraftmessverfahren gemäß TP Griff-StB SKM [43] für 100-m-Abschnitte zu ermitteln. Dabei dürfen die Sollmessgeschwindigkeiten von 60 km/h oder 80 km/h um maximal 30 km/h unterschritten werden und die ZG sind anschließend auf die Sollmessgeschwindigkeit zu korrigieren. Für Ortsdurchfahrten sind 20-m-Abschnitte zu bilden und es gilt eine Sollmessgeschwindigkeit von 40 km/h, aber Griffigkeitsmessdaten bei Geschwindigkeiten zwischen 30 bis 60 km/h sind zulässig, müssen aber auf die Sollmessgeschwindigkeit korrigiert werden. Das bedeutet, die zulässige Abweichung von der Sollmessgeschwindigkeit gemäß TP Griff-StB SKM

von ±10 km/h darf hier deutlich überschritten werden und es wird trotzdem mit dem festgelegten Faktor für die Geschwindigkeitsabhängigkeit von $\Delta\mu_{SKM}$ = 0,0025 je km/h korrigiert.

4.2.3 TP Griff-StB SKM

Die „Technische Prüfvorschrift Griffigkeitsmessungen im Straßenbau – Teil: Messverfahren SKM“ [43] ist für die Messung der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen und sonstigen Verkehrsflächen mit dem Seitenkraftmessverfahren anzuwenden. Sie definiert das Messprinzip, das standardisierte Messverfahren, die Datenerfassung, die Qualitätssicherung und die Messgenauigkeit der Griffigkeitsmesseinrichtung.

4.2.4 TP Griff-StB SRT

Die „Technische Prüfvorschrift Griffigkeitsmessungen im Straßenbau – Teil: Messverfahren SRT“ [91] entspricht im Wesentlichen der EN 13036-4 [51] mit einer genehmigten A-Abweichung für Deutschland. Dabei wird ein Verfahren für eine kombinierte Griffigkeitsmessung mit dem Pendelgerät und einem Ausflussmesser gemäß EN 13036-3 [75] geregelt.

4.2.5 Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren

Diese Arbeitsanleitung [93] ist für die Messung der Griffigkeit von Verkehrsflächen, Flächen des ruhenden Verkehrs, Rad- und Fußgängerverkehrsflächen, Verkehrsnebenflächen und Fahrbahnmarkierungen anzuwenden. Für die Ermittlung des Längsreibungsbeiwertes (LFC – Longitudinal Friction Coefficient) können alle Geräte verwendet werden, welche nach diesem Messprinzip arbeiten und den angeführten Spezifikationen dieser Arbeitsanleitung entsprechen (z.B. GripTester). Sie ist grundsätzlich nicht dafür bestimmt, als Teil von Bauverträgen vereinbart zu werden. Der Anwendungsbereich erstreckt sich vor allem auf das kommunale Straßennetz, das untergeordnete Außerortsstraßennetz oder die Äste von Autobahnen. Die Arbeitsanleitung beinhaltet Begriffsbestimmungen, das Messprinzip und die technische Beschreibung des Messsystems, die standardisierten Messverfahren für den Zug- und Schiebebetrieb, die Datenerfassung und Auswertung und die Qualitätssicherung (siehe Kapitel 5). Aufgrund eines fehlenden Bewertungshintergrundes, wurde diese Arbeitsanleitung noch nicht in die Technischen Prüfvorschriften übernommen.

4.2.6 Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem SRM

Die Arbeitsanleitung [94] ist für die Messung der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser anzuwenden. Sie enthält Messprinzip, standardisierte Messbedingungen, Kontrollen und Überprüfungen der Messgeräte, Messwertumrechnung auf Normbedingungen (Geschwindigkeits-korrektur) und Messwertaufbereitung. Sofern für Griffigkeitsmessungen kein anderes

Verfahren vorgeschrieben ist, können die Messungen gemäß dieser Arbeitsanleitung ausgeführt werden. Da das Griffigkeitsmesssystem SKM den SRM als Standardmessverfahren abgelöst hat, wurde diese Arbeitsanleitung ebenfalls nicht in die Technischen Prüfvorschriften übernommen.

4.2.7 MB Griff

Ziel des „Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe“ [11] ist es, die bei der Ausgestaltung der Straßengriffigkeit im Rahmen der Verkehrssicherungspflicht zu beachtenden Gesichtspunkte näher zu erläutern und eine Bewertung der Straßengriffigkeit vorzunehmen. Die Bewertung der Griffigkeit erfolgt dabei nach einem vorgegebenen Notenschema von 1 (Sehr Gut) bis 5 (Sehr Schlecht), mit dem die Zustandsgrößen in Zustandswerte umgewandelt werden können. In Tabelle 4-5 sind die Zustandswerte mit den zugehörigen Kennwerten (Ziel-, Warn- und Schwellenwert) für die Messverfahren SCRIM bzw. SKM, SRM und SRT/AM zusammengefasst. Der GripTester (Schlupfmessanhänger) ist zwar ebenfalls als Messsystem für Griffigkeitsmessungen vorgesehen, aber es sind noch keine Zustandswerte bzw. Zustandsgrößen für die Bewertung definiert worden.

Tabelle 4-5: Bewertung der Griffigkeit in Deutschland [11]

Zustandswerte		**Zustandsgrößen**							
ZEB-Werte		**Messverfahren SCRIM**			**Messverfahren SRM**			**Mess-verfahren SRT/AM**	
Zu-stands-wert	Bedeutung	μ_{SCRIM} bei v =			μ_{SRM} bei v =			SRT [Ein-hei-ten]	AM [s]
		40 km/h	60 km/h	80 km/h	40 km/h	60 km/h	80 km/h		
1		0,66	0,61	0,56	0,69	0,60	0,51	–	–
1,5	Zielwert	0,63	0,58	0,53	0,66	0,57	0,48	65	30
2		0,59	0,54	0,49	0,63	0,54	0,45	–	–
3		0,52	0,47	0,42	0,57	0,48	0,39	–	–
3,5	Warnwert	0,49	0,44	0,39	0,54	0,45	0,36	55	60
4		0,45	0,40	0,35	0,51	0,42	0,33	–	–
4,5	Schwellenwert	0,42	0,37	0,32	0,48	0,39	0,30	50	120
5		0,38	0,33	0,28	0,45	0,36	0,27	–	–

4.2.8 ZTV M 02

Die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen“ [95] definieren unter anderem auch die Griffigkeitsanforderung an Markierungen, welche im Regelfall der Klasse S1 gemäß EN 1436 [78] (siehe Tabelle 4-7) entsprechen muss und mit dem SRT-Pendel gemäß EN 13036-4 [51] zu prüfen ist.

4.2.9 Deutscher Bewertungshintergrund Griffigkeit

Im Zeitraum 1958 bis 1960 wurden vom Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Berlin Griffigkeitsmessungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser mit 20, 40, 60 und 80 km/h durchgeführt. Daraus wurde 1962 der erste Bewertungshintergrund für die Griffigkeit auf Grundlage der Häufigkeitsverteilung der Griffigkeit auf dem deutschen Fernstraßennetz definiert. Wegen einer Umstellung der Messreifen beim SRM vom „Phoenix P3“ auf den neuen und bis heute eingesetzten „PIARC“-Reifen musste der Bewertungshintergrund erneuert werden. Dazu wurden Vergleichsmessungen mit dem alten und dem neuen Messreifen sowie stichprobenartige Griffigkeitsmessungen auf ausgewählten Strecken des Fernstraßennetzes von 1976 bis 1979 durchgeführt. Im Jahr 1984 wurde der neue Bewertungshintergrund für den SRM anhand einer Häufigkeitsverteilung von ca. 13.000 Einzelmesswerten festgelegt (siehe Abbildung 4-3) [80].

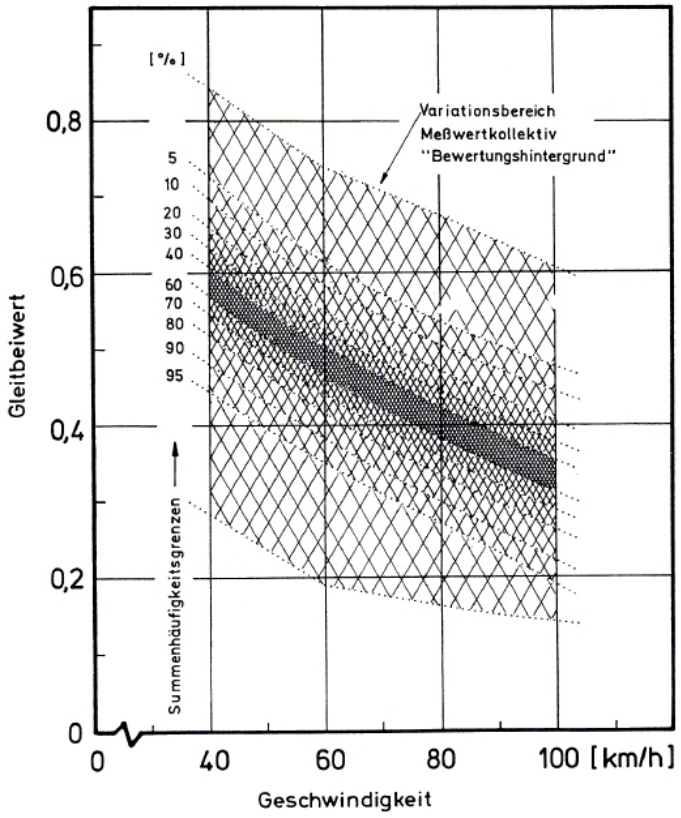
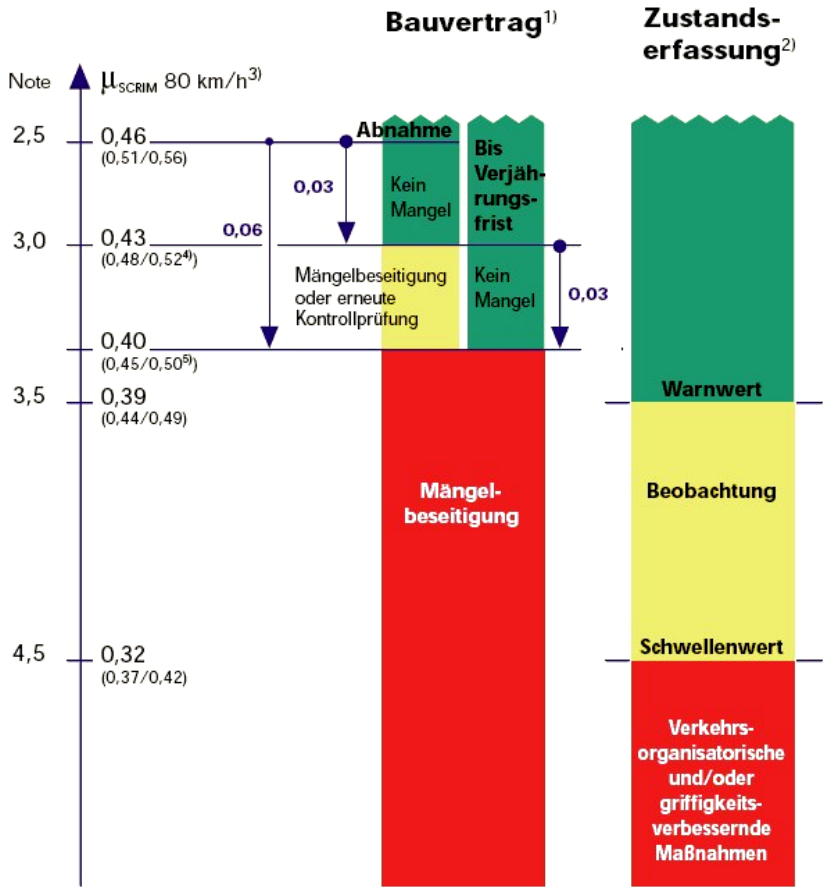


Abbildung 4-3: Deutscher Bewertungshintergrund für Griffigkeitsmessungen mit dem SRM [80]

Für das Messverfahren SCRIM wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Jahr 1990 ein erster Bewertungshintergrund geschaffen [96]. Hierzu wurde eine repräsentative Erhebung der Griffigkeit in der rechten Rollspur des rechten Fahrstreifens auf Bundesautobahnen durchgeführt, wobei darauf geachtet wurde, dass der Anteil an gemessenen Beton- und Asphaltdeckschichten dem tatsächlichen Bestand entsprachen [25]. Nach dem gleichen Prinzip wie beim SRM wurden auch hier Ziel-, Warn- und Schwellenwerte festgelegt. Für den aktuellen Bewertungshintergrund für SCRIM bzw. SKM in Deutschland wurden ergänzend noch Daten von ZEB-Messungen aus den Jahren 1992 bis 1997 mit einbezogen und erneut eine statistische Häufigkeitsverteilung der Griffigkeit abgeleitet. Die Einteilung in die fünf Griffigkeitsklassen „Sehr Schlecht", „Schlecht", „Ausreichend", „Gut" und „Sehr gut" erfolgte nach den 5 %, 10 %, 30 %, 70 % und 100 % Fraktilen und ist somit gleich wie in Österreich. Allerdings sind die Grenzwerte unterschiedlich da in Deutschland der aktuelle Bewertungshintergrund auf Daten der SKM beruht.



1) ZTV Asphalt-StB 01
2) Merkblatt für die Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe (M BGriff), Ausgabe 2003
3) Klammerwerte für Messgeschwindigkeiten 60 bzw. 40 km/h nach dem ARS 24/2003 vom 7. Juli 2003
4) Bei „Abnahme": 0,53
5) Bei „Bis Verjährungsfrist": 0,49

Abbildung 4-4: Deutscher Bewertungshintergrund für Griffigkeitsmessungen mit dem SKM [97]

4.3 Großbritannien

In Großbritannien werden Griffigkeitsmessungen nach British Standard 7941 durchgeführt. Die Mindestanforderungen an die Griffigkeit werden im HD 28/04 geregelt.

4.3.1 BS 7941-1

Der British Standard „Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces – Part 1: Sideway-force coefficient routine investigation machine“ [98] beschreibt das Messprinzip, das Messequipment, die Kalibrierung, die Messdurchführung und die Präzision der SCRIM.

4.3.2 BS 7941-2

Im British Standard „Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces – Part 2: Test method for measurement of surface skid resistance using the GripTester braked wheel fixed slip device“ [99] werden das Messprinzip, das Messequipment, die Kalibrierung, die Messdurchführung und die Präzision des GripTesters beschrieben (siehe Kapitel 5).

4.3.3 HD 28/04

Das „Design manual for roads and bridges – Volume 7: Pavement design and maintenance“ [100] legt die Anforderungen an die Griffigkeit für Haupt- und Fernverkehrsstraßen fest. Weiters wird die Messdurchführung und die Ergebnisinterpretation für die jährlichen SCRIM Messungen gemäß BS 7941-1 geregelt. In Tabelle 4-6 sind die Grenzwerte (Investigatory Levels) für SCRIM (SFC) für zehn verschiedene Kategorien (Straßentyp, Straßengeometrie) festgelegt. Liegen die gemessenen Reibungsbeiwerte über diesen Werten, wird das Griffigkeitsniveau als ausreichend betrachtet. Werden die Grenzwerte unterschritten, so ist eine genauere Betrachtung der Griffigkeit notwendig.

Aufgrund der Vergleichsmessungen zwischen SCRIM und GripTester Anfang 2004 und der daraus ermittelten Umrechnungsfunktion (siehe Kapitel 8.5) wurden im UKPMS User Manual [101] auch Grenzwerte für den GripTester (GN) angegeben (siehe Tabelle 4-6).

Die Beurteilungslänge beträgt im Regelfall für die Kategorien A, B und C 100 m, bei den Kategorien Q und K (Kreuzungen, Fußgängerübergänge) und G und S (Steigungen, Kurven) wird sie auf 50 m und bei Kreisverkehren (Kategorie R) auf 10 m reduziert. Die dunkelgrauen Felder in Tabelle 4-6 gelten für Hauptstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen und die hellgrauen Felder für Bereiche mit geringem Gefahrenpotential (Unfallhäufigkeit) und niedrigerem Verkehrsaufkommen [100].

Tabelle 4-6: Bewertung der Griffigkeit in Großbritannien [100] [101]

Site Category and Definition			Investigatory Level at 50 km/h							
		SFC	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
		GN	0.35	0.41	0.47	0.53	0.59	0.65	0.71	0.76
A	Motorway									
B	Dual carriageway – non event									
C	Single carriageway – non event									
Q	Approaches to and across minor and major junctions, approaches to roundabouts									
K	Approaches to pedestrian crossings and other high risk situations									
R	Roundabout									
G1	Gradient 5 – 10 % longer than 50m									
G2	Gradient > 10% longer than 50m									
S1	Bend radius < 500m – dual carriageway									
S2	Bend radius < 500m single carriageway									

4.4 Europäische Normen

Die europäischen Normen zur Griffigkeitsmessung wurden zum Großteil bereits in die Regelwerke von Österreich (ÖNORM), Deutschland (DIN) oder Großbritannien (BS) integriert bzw. als verbindlich erklärt und gelten somit für alle Länder gleichermaßen.

4.4.1 EN 13036-3

Die EN 13036-3 „Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 3: Messung der horizontalen Entwässerung von Deckschichten“ [75] regelt ein stationäres Verfahren zur Beurteilung des Drainagevermögens als Hinweis auf eine verhältnismäßig niedrige Oberflächenstruktur mit Hilfe eines Ausflussmessgerätes nach Moore. Diese Norm definiert das Messprinzip, die Prüfeinrichtung samt Kalibrierung, die Messdurchführung und Ermittlung des Prüfergebnisses. Diese Verfahren wird nur ergänzend zu Messungen mit dem SRT-Pendel gemäß EN 13036-4 [51] empfohlen.

4.4.2 EN 13036-4

Die EN 13036-4 „Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der

Pendeltest“ [51] regelt ein stationäres Verfahren zur Bestimmung der Griffigkeit im Feldversuch oder im Labor mit dem SRT-Pendel. Diese Norm definiert das Messprinzip, die Prüfeinrichtung samt Kalibrierung, die Messdurchführung und Ermittlung des Prüfergebnisses.

4.4.3 EN 1436

Die EN 1436 „Straßenmarkierungsmaterialien – Anforderungen an Markierungen auf Straßen“ [78] legt für verschiedene Anforderungsklassen (S0 bis S5, siehe Tabelle 4-7) die Mindestgriffigkeit fest, welche mit dem SRT-Pendel gemäß EN 13036-4 [51] zu prüfen ist.

Tabelle 4-7: Griffigkeitsklassen für Bodenmarkierungen [78]

Klasse	Mindest-SRT-Wert (PTV)
S0	keine Eigenschaft festgelegt
S1	SRT ≥ 45
S2	SRT ≥ 50
S3	SRT ≥ 55
S4	SRT ≥ 60
S5	SRT ≥ 65

4.4.4 CEN-Finalentwurf EN 13036-2

Der CEN-Finalentwurf „Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der Griffigkeit von Fahrbahndecken durch Verwendung von dynamischen Messsystemen” [47] des Technischen Komitees CEN/TC 227 beinhaltet folgende zehn Griffigkeitsmesssysteme für den Einsatz in Europa:

- RoadSTAR
- ROAR Niederlande
- ADHERA
- Tatra Runway Tester
- ROAR Dänemark
- SCRIM
- SKM
- GripTester
- DWW Trailer
- Skiddometer Trailer

Für diese Messsysteme wurde ein Verfahren zur Berechnung des Skid Resistance Index (SRI) festgelegt welcher eine einheitliche Bewertung der Griffigkeit ermöglicht. Dieses Verfahren wurde im Rahmen von Harmonisierungsversuchen

(siehe Kapitel 8.4) entwickelt. In diesem Entwurf sind das Messverfahren, die Berechnung des SRI und das Kalibrierungsverfahren der Griffigkeitsmesssysteme erläutert. Allerdings fehlen noch die Angaben zur Präzision des SRI.

4.4.5 CEN-Entwurf GripTester

Zur Zeit wird vom Technischen Komitee CEN/TC 227 der Normentwurf prCEN/TS 15901-7 „Oberflächeneigenschaften von Straßen- und Flugfeldbelägen – Technische Spezifikation zur Bestimmung der Griffigkeit von Belagsoberflächen durch Messung des LFCG: GripTester“ [102] bearbeitet, der im Wesentlichen die Anwendung des Messsystem GripTester bzw. von gleichwertigen Geräten europaweit regeln soll (siehe Kapitel 5).

4.4.6 CEN-Entwurf RoadSTAR

Ebenso wird vom Technischen Komitee CEN/TC 227 der Normentwurf prCEN/TS 15901-1 „Oberflächeneigenschaften von Straßen- und Flugfeldbelägen – Technische Spezifikation zur Bestimmung der Griffigkeit von Belagsoberflächen durch Messung des LFCS: RoadSTAR“ [103] bearbeitet, welcher im Wesentlichen die Anwendung des Messsystem RoadSTAR bzw. von gleichwertigen Geräten in Europa regelt.

4.5 Flugpisten

Die Griffigkeitsmessungen auf Flugpisten werden weltweit im „Annex 14 – Aerodromes, Volume 1: Aerodrome Design and Operations“ [104] und dem „Airport Services Manual – Part 2: Pavement Surface Conditions“ [105] der International Civil Aviation Organisation (ICAO) geregelt.

Messgerät und Messanordnung

Um eine Gleichförmigkeit und einen Vergleich mit anderen Flugpisten zu gewährleisten, ist die Griffigkeit mit einem der folgenden Messsysteme zu ermitteln, welche von der ICAO und Federal Aviation Administration (FAA) zugelassen sind:

- Mu-meter
- Skiddometer
- Surface Friction Tester
- Runway Friction Tester
- TATRA Friction Tester
- RUNAR
- GripTester

Alle Messsysteme erfassen den Reibungsbeiwert kontinuierlich, mit einem glatten Messreifen und unter Verwendung eines automatischen Bewässerungssystems. Die Messungen sind einheitlich mit einer Messgeschwindigkeit von 65 km/h und/oder 95 km/h, einer Wasserfilmdicke von 1,0 mm und in einem konstanten Schlupf im Bereich von 10 % bis 20 % durchzuführen [105].

Die Flugpiste ist 3 m links und rechts der Mittellinie oder an den am stärksten befahrenen Stellen zu messen. Bei einem Mix aus großen und kleinen Flugzeugen sind die Messungen 5 m links und rechts der Flugpistenmittellinie auszuführen. Die Griffigkeitsmessungen sind in beiden Fahrtrichtungen durchzuführen und deren Ergebnisse für jedes Drittel der Flugpiste zu mitteln [105].

Zeitpunkt der Messungen

Neue bzw. erneuerte Flugpisten werden nach Fertigstellung gemessen. Danach sind die Griffigkeitsmessungen periodisch, abhängig vom Intervall der täglichen Landungen von Turbojet-Flugzeugen je Flugpistenende durchzuführen.

Tabelle 4-8: Frequenz für Griffigkeitsmessungen auf Flugpisten [105]

Tägliche Turbojet Landungen je Flugpistenende	Minimale Frequenz für Griffigkeitsmessungen
≤ 15	1 Jahr
16 - 30	6 Monate
31 - 90	3 Monate
91 - 150	1 Monat
151 - 210	2 Wochen
> 210	1 Woche

Anforderungen

Anhand von Erfahrungen mit verschiedenen Griffigkeitsmessgeräten werden von der ICAO die in Tabelle 4-9 angeführten Grenzwerte für Flugpisten vorgeschlagen. Hier sind je Griffigkeitsmessgerät und Messgeschwindigkeit die Zielwerte für neue Flugpisten und die Warn- und Schwellenwerte für die Erhaltungsplanung angegeben.

Tabelle 4-9: Grenzwerte für Flugpisten [105]

Test equipment	Test tire		Test speed (km/h)	Test water depth (mm)	Design objective for new surface	Maintenance planning level	Minimum friction level
	Type	Pressure (kPa)					
(1)	(2)		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Mu-meter Trailer	A	70	65	1.0	0.72	0.52	0.42
	A	70	95	1.0	0.66	0.38	0.26
Skiddometer Trailer	B	210	65	1.0	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	1.0	0.74	0.47	0.34
Surface Friction Tester Vehicle	B	210	65	1.0	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	1.0	0.74	0.47	0.34
Runway Friction Tester Vehicle	B	210	65	1.0	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	1.0	0.74	0.54	0.41
TATRA Friction Tester Vehicle	B	210	65	1.0	0.76	0.57	0.48
	B	210	95	1.0	0.67	0.52	0.42
RUNAR Trailer	B	210	65	1.0	0.69	0.52	0.45
	B	210	95	1.0	0.63	0.42	0.32
GRIPTESTER Trailer	C	140	65	1.0	0.74	0.53	0.43
	C	140	95	1.0	0.64	0.36	0.24

4.6 Zusammenfassende Beurteilung der Richtlinien

In jedem der Länder, in denen für den GripTester eine offizielle Richtlinie zur Durchführung von Griffigkeitsmessungen vorliegt, ist bereits ein anderes Standardmessverfahren (Österreich – RoadSTAR, Deutschland – SKM, Großbritannien – SCRIM) mit etabliertem Bewertungshintergrund vorhanden. Bis auf Flugbetriebsflächen [105] und einem PMS-Handbuch in Großbritannien [101] gibt es momentan keinen offiziellen Bewertungshintergrund für Reibungsbeiwerte GripTester. Der GripTester wird dadurch im Moment oft als Griffigkeitsmessverfahren „2. Klasse“ angesehen und dadurch nicht für bauvertragliche Messungen verwendet, obwohl die Anforderungen in den Richtlinien für die Messdurchführung den Standards der großen Messsysteme entsprechen.

Der Vorschlag der CEN [47], alle Griffigkeitsmesssysteme anhand eines gemeinsamen Index – dem SRI – zu harmonisieren ist zu begrüßen, allerdings muss dann auch ein einheitlicher Bewertungshintergrund für den SRI erstellt werden. Dieser sollte dann aus fahrdynamischen Versuchen und verkehrssicherheitsrelevanter Überlegungen entwickelt werden und nicht wie bisher, aus einer Häufigkeitsverteilung der Griffigkeit im Straßennetz.

5 Standardisiertes Messverfahren für den GripTester in Österreich

Um wiederholbare und vergleichbare Messergebnisse zu gewährleisten, müssen Griffigkeitsmessungen nach einem standardisierten Messverfahren ausgeführt werden.

Tabelle 5-1: Vergleich der standardisierten Messverfahren GripTester

Kriterium	Standardisierte Messverfahren GripTester				
	RVS 11.06.71	**FGSV AA**	**BS 7941-2**	**prCEN/TS 15901-7**	**ICAO**
Land Anwendungsbereich	Osterreich, Fahrbahnoberflächen und sonst. Verkehrsflächen. Fahrbahnmarkierungen	Deutschland, kommunales Straßennetz, untergeordnetes Außerortsnetz, Autobahnäste, Fahrbahnmarkierungen, Rad u. Fußwege, nicht für Bauverträge	Great Britain, external paved surfaces or indoors	Europe, paved areas (roads, road markings,airport runways, flight decks, footways, indoors); monitoring, approval of new surfacing, investigation, research	International Airports
Messbereich	0,00 ≤ μ_{GT} ≤ 1,20	0,00 ≤ μ_{LFC} ≤ 1,20	0,00 ≤ GN ≤ 1,20	0,00 ≤ LFCG ≤ 1,20	0,00 ≤ μ ≤ 1,00
Messreifenschlupf	15±1 %	15,6 %	15 %	15±1 %	14±3 %
Messreifenauflast	ca. 250 N	ca. 250 N	220 to 280 N	250±30 N	250 N
Messreifen	ASTM E1844-96, Shore-A: 58±2 (23 ±2 °C)	ASTM E1844-96, Shore-A 58 ± 2 bei 23 ± 2 °C	10" smooth tread by manufacturer	ASTM E1844-96, Shore-A: 58±2, Lupke test: 46±3; other sources of tyres may be used	ASTM E1844-96
Reifeninnendruck	1,4 bar (20 °C)	1,4 bar (20 °C)	-	138±3 kPa (20 °C)	140±3 kPa (20 °C)
Theor. Wasserfilmdicke	0,5 mm	0,5 mm	-	0,5 mm	1,0 mm
Messgeschwindigkeit	Schiebebetrieb: 5 km/h Zugbetrieb:60 ±3 km/h	Schiebebetrieb: 6±1 km/h Zugbetrieb: 20, 40, 60, 80 ±4 km/h	Pushing: 6±1 km/h Towing: 20, 50, 65, 95 ±5 km/h	Pushing: 5 ± 2 km/h Towing: up to 130±1 km/h	65±0,8 km/h and/or 95±1,5 km/h
Geschwindigkeitskorrektur	-	0,0042/km/h bei ±4 km/h	-	-	-
Messspurlage	Schiebebetrieb: Bedarf Zugbetrieb: rechte Rollspur	Spurführungssystem ±15 cm von Solllinie	-	nearside wheelpath or acceptance tests: 70±15 cm	3 m at each side of runway centre line
Vorlaufstrecke	Schiebebetrieb: 25 m Zugbetrieb: 500 m	Schiebebetrieb: 25 m Zugbetrieb: 500 m	Pushing: 20 m Towing: 500 m	Pushing: 20 m Towing: 500 m	600 m
Einzelwerterfassung	Schiebebetrieb: 4 cm Zugbetrieb: 40 cm	20 cm	4, 16, 40 or 80 cm	Pushing: 4 cm Towing: 40 cm	-
Aufzeichnungsintervall	Schiebebetrieb: 1 m Zugbetrieb: 5 m	1 m	4 cm to 10 m	1, 5, 10 or 20 m	10 m
Auswertelänge	Schiebebetrieb: Bedarf Zugbetrieb: 50 m	100 m (aus zehn 10-m-Abschnitten)	-	20 m	1/3 of runway length
Oberfläche	trocken, frei von Eis und Verschmutzungen	sauber, nicht regennass	free from standing water, frost, grease, debris	no pollution	compacter snow or ice is possible
Lufttemperatur	5 bis 40 °C	-	-	> 4 °C	-
Oberflächentemperatur	5 bis 40 °C	5 bis 50 °C	no risk of freezing	> 5 to < 50 °C	-
Wassertemperatur	5 bis 25 °C	8 bis 25 °C	5 to 25 °C	5 to 25 °C	-
Temperaturkorrektur	-	0,003/°C auf 20 °C	-	-	-
Messdurchführung	mind. 2 Messungen	Netzweit 1 Messung, Objektscharf 2 Messungen	-	-	2 runs in each direction
Plausibilitätsprüfung	ΔMW ≤ 0,03; 2σ ≤ 0,06	$\Delta\mu_{100}$ = ± 0,03	-	-	-
Präzision	r = 0,04; R = 0,08 (50 m)	-	r = 0,02; R = 0,08 (130 m)	r = 0,03; R = 0,06 to 0,08	-
Eigenüberwachung	monatlich: ΔMW ≤ 0,05; 2σ ≤ 0,10	monatlich: $\Delta\mu_{100}$ ≤ 0,05; $\Delta\mu_{1000}$ ≤ 0,015	-	-	-
Fremdüberwachung	1x jährlich mit Referenzgerät	1x Jahr mit Referenzgerät; 4 Monate: $\Delta\mu_{1000}$ ≤ 0,035	-	Annually correlation with other devices and service	-

Zurzeit gibt es weltweit nur vier Richtlinien [7] [93] [99] [105] und einen europäischen Normentwurf [102] (siehe Kapitel 4) die ein standardisiertes Messverfahren für den GripTester festlegen (siehe Tabelle 5.1). Für den Einsatz in Österreich wurde die einheitliche Anwendung des GripTesters in der RVS 11.06.71 [7] festgelegt, welche auszugsweise in den nachfolgenden Punkten zitiert wird. Dabei wird auch auf die wesentlichsten Unterschiede zu den anderen Richtlinien eingegangen.

5.1 Messeinstellungen

5.1.1 Messgeschwindigkeit

Die Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester in Österreich sind im Regelfall im Zugbetrieb mit einer Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h und einer zulässigen Toleranz von ±3 km/h und im Schiebebetrieb mit ca. 5 km/h auszuführen. Die Geschwindigkeit von 60 km/h wurde in Anlehnung an das standardisierte Messverfahren des RoadSTAR festgelegt.

In Deutschland ist die Messgeschwindigkeit an die örtlichen Verhältnisse anzupassen, dabei stehen für den Zugbetrieb 20 oder 40 km/h (sonstige Flächen), 60 km/h (Bundes- und Landesstraßen) oder 80 km/h (Autobahnen) mit einer Toleranz von ±4 km/h und für den Schiebebetrieb 6 ± 1 km/h zur Auswahl. Im BS und CEN-Entwurf sind die Messgeschwindigkeiten für den Zugbetrieb prinzipiell frei wählbar mit Toleranzen von ±5 km/h bzw. ±1 km/h. Für den Schiebebetrieb setzt der BS 6 ± 1 km/h und die CEN 5 ± 2 km/h fest. Auf Flugbetriebsflächen stehen die zwei Messgeschwindigkeiten, 65 ± 0,8 km/h und/oder 95 ± 1,5 km/h, zur Auswahl.

In Österreich wird prinzipiell das Konzept verfolgt alle Griffigkeitsmessungen mit möglichst einer Geschwindigkeit auszuführen, damit die Ergebnisse besser vergleichbar sind. Erst wenn die Einhaltung von 60 km/h aufgrund der Straßenverhältnisse nicht mehr möglich ist, darf mit einer langsameren Geschwindigkeit gemessen werden. Für eine Beurteilung sind die Ergebnisse aber dann auf die Messgeschwindigkeit von 60 km/h umzurechnen.

5.1.2 Wasserfilmdicke

Gemäß RVS 11.06.71 ist für die Standardmessungen eine theoretische Wasserfilmdicke von 0,5 mm zu wählen. Dies ist ebenfalls konform zur Richtlinie des RoadSTAR.

In Deutschland und für die europaweite Nutzung ist ebenfalls eine theoretische Wasserfilmdicke von 0,5 mm für die Griffigkeitsmessungen festgelegt. In Großbritannien ist diese nicht genau vorgegeben, wird aber in einem Bereich von 0,25 mm bis 1,0 mm gewählt und auf Flugplätzen wird einheitlich eine Wasserfilmdicke von 1,0 mm vorgeschrieben.

Eine Wasserfilmdicke von 0,5 mm hat sich somit bei den meisten Griffigkeitsmessverfahren auf Straßen schon etabliert.

5.1.3 Datenaufzeichnung

Für Österreich wurden für GripTester-Messungen im Zugbetrieb eine Einzelwerterfassung im 40-cm-Intervall und eine Abspeicherung im 5-m-Intervall festgelegt. Im Schiebebetrieb erfolgen standardmäßig die Einzelwerterfassung im 4-cm-Intervall und die Abspeicherung im 1-m-Intervall. Das Messsystem RoadSTAR speichert standardmäßig ebenfalls die Reibungsbeiwerte als 5-m-Messwerte ab.

In Deutschland sind im Zug- und Schiebebetrieb 1-m-Messwerte abzuspeichern welche aus mindestens fünf Einzelwerten (20-cm-Intervall) ermittelt werden müssen. Im BS sind die Einzelwerterfassung und das Aufzeichnungsintervall je nach Messaufgabe aus Vorschlagswerten frei wählbar. Der CEN-Entwurf sieht dieselbe Einzelwerterfassung wie die österreichische RVS vor, lässt aber beim Aufzeichnungsintervall die freie Entscheidung zwischen 1, 5, 10 oder 20 m. Gemäß ICAO sind mit dem GripTester 10-m-Messwerte aufzuzeichnen.

5.1.4 Sonstige Einstellungen

Alle anderen Parameter wie Messreifentyp, -schlupf, -last, -innendruck werden vom Gerät bzw. Hersteller vorgegeben und sind somit weltweit identisch und sollen auch nicht verändert werden.

5.2 Messbedingungen

Für die Griffigkeitsmessungen in Österreich muss die Fahrbahnoberfläche trocken sowie frei von Eis und Verschmutzungen sein. Während der Messungen muss die Luft- und Oberflächentemperatur 5 °C bis 40 °C und die Wassertemperatur 5 °C bis 25 °C betragen.

In den anderen Ländern darf die Fahrbahn ebenfalls nicht verschmutzt sein, aber eine gewisse Feuchtigkeit (z.B. nach einem Regen oder einer vorangegangenen Messung) ist zulässig. Auf Flugbetriebsflächen wird immer der aktuelle Griffigkeitszustand ermittelt, dadurch sind auch Messungen bei Eis oder Schnee möglich (ohne zusätzliche Bewässerung). Für Deutschland und die europaweite Nutzung sind höhere Temperaturspannen von 5 °C bis 50 °C für die Luft- und Oberflächentemperatur zulässig. In Großbritannien muss nur gewährleistet sein, dass das aufgebrachte Wasser auf der Fahrbahnoberfläche nicht friert.

Die höheren zulässigen Temperaturgrenzen aus Deutschland wurden in Österreich nicht übernommen, da auch keine Temperaturkorrekturen vorgesehen sind (siehe Kapitel 7.3).

5.3 Messdurchführung

Gemäß RVS sind beim Standardmessverfahren immer mindestens zwei Messungen unmittelbar hintereinander in der rechten Rollspur durchzuführen. Dabei ist jeweils eine Vorlaufstrecke von mindestens 500 m (bzw. 25 m im Schiebebetrieb) einzuhalten und die Messgenauigkeit zu überprüfen (siehe Kapitel 5.5).

In Deutschland ist für eine Zustandserfassung auf Netzebene eine Messung in der vom Auftraggeber vorgegebenen Messlinie durchzuführen (z.B. rechte Rollspur). Für objektscharfe Betrachtungen der Griffigkeit sind mindestens zwei Messungen mit einem Spurführungssystem in der vom Auftraggeber vorgegebenen Messlinie durchzuführen. Im Zugbetrieb ist eine Vorlaufstrecke von mindestens 500 m und im Schiebebetrieb von 25 m einzuhalten.

Im BS gibt es bis auf eine Mindestvorlaufstrecke keinerlei Vorgaben für die Messdurchführung. Der CEN-Entwurf sieht ebenfalls Vorlaufstrecken vor und legt die Messspur in der Nähe der Rollspur bzw. bei Abnahmeprüfung 70±15 cm von der Randlinie fest. Auf Flugpisten sind die Griffigkeitsmessungen 3 m links und rechts der Mittellinie und in beiden Fahrtrichtungen auszuführen. Davor ist der GripTester mindestens 600 m einzufahren.

Der Vorteil der Anwendung eines Spurführungssystems bei Griffigkeitsmessungen hat sich bei durchgeführten Ringversuchen nicht gezeigt (siehe Kapitel 6.3). Deshalb wird in Österreich der Einsatz eines solchen Systems noch nicht vorgeschrieben. Generell soll aber die Griffigkeit an jener Stelle ermittelt werden, wo sie am niedrigsten ist.

5.4 Auswertung

In Österreich werden als endgültiges Ergebnis die 50-m-Mittelwerte aus den 5-m-Messwerten von zwei Messungen arithmetisch gemittelt, welche auf zwei Nachkommastellen mathematisch auf- bzw. abzurunden sind. Im Schiebebetrieb wird die Auswertelänge für das Endergebnis je nach Messaufgabe beliebig festgelegt.

In der deutschen Arbeitsanleitung wird für die Beurteilung je nach festgelegter Abschnittslänge das Ergebnis als arithmetischer Mittelwert aus den 1-m-Messwerten gebildet. Bei einer objektscharfen Betrachtung beträgt die Abschnittslänge in der Regel 100 m und das Ergebnis für diesen Abschnitt wird als arithmetischer Mittelwert von zehn aufeinanderfolgenden 10-m-Mittelwerten aus zwei Messungen berechnet. Weiters wird auf die Messwerte vorher eine Geräte-, Geschwindigkeits- und Temperaturkorrektur angewendet (siehe auch Kapitel 7.1 und 7.3). Im BS ist die Auswertelänge je nach Messaufgabe frei wählbar und der CEN-Entwurf legt die Auswertelänge mit 20 m fest. Die ICAO definiert nur, dass die Griffigkeit je Pistendrittel anzugeben ist und aus den vier durchgeführten Messungen arithmetisch zu mitteln ist.

Abhängig von den Vorgaben des etablierten Pavement Management Systems (PMS) legt jedes Land unterschiedliche Auswertelängen fest. Anzumerken ist hier allerdings, dass sich die Präzision mit der Auswertelänge ändert (siehe Kapitel 6.4).

5.5 Qualitätssicherung

Neben den standardmäßigen Überprüfungen (Wartung, Kalibrierung) am GripTester gemäß den Herstellervorgaben [55] [56] werden in Österreich und Deutschland zusätzliche Prüfungen mittels Referenzmessungen im Rahmen der Qualitätssicherung (Eigen- und Fremdüberwachung) durchgeführt. In Österreich wurde die Qualitätssicherung des GripTesters an das Verfahren des RoadSTAR und in Deutschland an das Verfahren des SKM angepasst, welche vom Grundprinzip gleich sind, aber andere Toleranzen zulassen.

5.5.1 Österreich

In der RVS 11.06.71 [7] wurde festgelegt, dass die Messgenauigkeit durch Doppelmessungen jedes Mal nachgewiesen werden muss. Damit die Messungen gültig sind, müssen die Grenzwerte gemäß Tabelle 5-2 eingehalten werden, ansonsten ist eine weitere Messung durchzuführen und diese mit der vorhergehenden zu vergleichen. Erst wenn zwei aufeinanderfolgende Messungen innerhalb der Grenzwerte liegen, kann die Messdurchführung beendet werden.

Tabelle 5-2: Messgenauigkeit GripTester [7]

Messstreckenlänge 2 km, 50-m-Einzelwerte	Grenzwert
Betrag der Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$\Delta MW \leq 0{,}03$
Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$2\sigma \leq 0{,}06$

Monatlich bzw. vor Messungen nach längeren Einsatzpausen ist eine Kalibrierung gemäß Herstellerhandbuch [55] [56] durchzuführen. Nach erfolgter Kalibrierung ist eine Wiederholungsmessung auf einer mindestens 2 km langen Messstrecke, die unmittelbar vor der Kalibrierung gemessen wurde, durchzuführen. Dabei sind die zulässigen Abweichungen gemäß Tabelle 5-3 einzuhalten, ansonsten sind die seit der letzten gültigen Kalibrierung ermittelten Ergebnisse zu verwerfen.

Tabelle 5-3: Zulässige Abweichungen bei Kalibriermessungen [7]

Messstreckenlänge 2 km, 50-m-Mittelwerte	Grenzwert
Betrag der Differenz der Mittelwerte vor und nach der Kalibrierung	$\Delta MW \leq 0{,}04$
Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Mittelwerte vor und nach der Kalibrierung	$2\sigma \leq 0{,}07$

Zusätzlich sind während der Messsaison, in der Regel in monatlichen Abständen, jedenfalls vor Messungen nach längeren Einsatzpausen, Referenzmessungen auf einer 2 km langen Referenzstrecke durchzuführen. Dabei sind die zulässigen Abweichungen gemäß Tabelle 5-4 einzuhalten, ansonsten sind die seit der letzten gültigen Referenzmessung ermittelten Ergebnisse zu verwerfen.

Tabelle 5-4: Zulässige Abweichungen bei Referenzmessungen [7]

Messstreckenlänge 2 km, 50-m-Mittelwerte	Grenzwert
Betrag der Differenz der Mittelwerte der letzten und aktuellen Referenzmessung	$\Delta MW \leq 0{,}05$
Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Mittelwerte der letzten und aktuellen Referenzmessung	$2\sigma \leq 0{,}10$

Einmal jährlich ist eine Wartung und Kalibrierung des Messsystems beim Hersteller oder einem autorisierten Vertriebspartner durchführen zu lassen. Dabei sind der GripTester und seine Komponenten auf ihre Funktionstauglichkeit zu überprüfen. Weiters werden Vergleichsmessungen mit einem Referenzgerät durchgeführt. Bei systematischen Abweichungen zum Referenzgerät wird für das überprüfte Gerät vom Hersteller oder einem autorisiertem Vertriebspartner eine Korrekturfunktion für die gemessenen Reibungsbeiwerte festgelegt. Nach dieser Überprüfung wird für den GripTester ein 12 Monate gültiges Kalibrierzertifikat ausgestellt (siehe Abbildung 7-19, Seite 154). Unmittelbar danach ist eine Referenzmessung auf einer mindestens 2 km langen Referenzstrecke durchzuführen.

5.5.2 Deutschland

In der Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester [93] wurde eine Plausibilitätsprüfung festgelegt, welche die Gültigkeit zweier Messungen überprüft. Dabei müssen die Grenzwerte gemäß Tabelle 5-5 eingehalten werden, ansonsten ist die Messung für diesen Abschnitt zu wiederholen.

Tabelle 5-5: Plausibilitätsprüfung [93]

100-m-Einzelwerte	Grenzwert
Abweichung der 100-m-Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$\Delta\mu_{100} \pm 0{,}03$
Abstandsabweichung von der Sollmesslinie	± 15 cm

Abhängig von der Messleistung, aber mindestens einmal im Monat, ist auf zwei ausgewählten Streckenabschnitten mit jeweils 1,0 km Länge die Eigenüberwachungsmessung durchzuführen. Treten dabei unplausible Abweichungen zu den vorangegangenen Messungen auf, die nicht mit jahreszeitlichen Griffigkeitsschwankungen erklärbar sind, ist eine Fremdüberwachungsprüfung durchzuführen.

Tabelle 5-6: Eigenüberwachung [93]

Messstreckenlänge 1 km, 100-m-Einzelwerte	Grenzwert
Betrag der Differenz der Mittelwerte der letzten und aktuellen Eigenüberwachungsmessung	$\Delta MW \leq 0{,}015$
Betrag der Differenz der 100-m-Einzelwerte der letzten und aktuellen Eigenüberwachungsmessung	$\Delta\mu_{100} \leq 0{,}05$

Zwischen zwei Fremdüberwachungsprüfungen darf längstens ein Zeitraum von vier Monaten vergehen. Die Prüfung erfolgt in der Regel durch vergleichende Messungen von mindestens drei GripTestern auf einer 1,0 km langen Messstrecke. Mit jedem Gerät sind mindestens zwei gültige Messungen durchzuführen und danach die Messstreckenmittelwerte gegenüberzustellen. Zwischen den Geräten ist die maximale Abweichung gemäß Tabelle 5-7 einzuhalten. Kann bei größeren Differenzen nicht zweifelsfrei festgestellt werden, welches Messgerät abweichende Messwerte liefert, ist die Freigabeinstitution zu beteiligen.

Tabelle 5-7: Fremdüberwachung [93]

Messstreckenlänge 1 km, 1000-m-Mittelwerte	Grenzwert
Abweichung der Mittelwerte zwischen den Messgeräten	$\Delta MW \pm 0{,}035$

Einmal jährlich erfolgt eine Freigabeprüfung durch eine zugelassene Freigabeinstitution. Dabei werden vergleichende Messfahrten gegenüber einem oder mehreren Referenzgeräten auf ausgewählten Strecken durchgeführt und bei Bedarf eine Korrekturfunktion für das Gerät ermittelt. Nach der Überprüfung wird für den GripTester eine zeitbefristete Freigabe von in der Regel 12 Monaten ausgestellt.

6 Ermittlung der Messgenauigkeit des Messsystems GripTester

6.1 Allgemeine Grundlagen

Die Kenntnis der Messgenauigkeit eines Messverfahrens ist wesentlich, da jede Messung einer gewissen zufälligen Streuung unterliegt. Durch Angabe eines Vertrauensbereiches, in welchem der gemessene Wert mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit liegt, kann eine Aussage über die Qualität eines Messergebnisses getroffen werden und es ist möglich, das Risiko einzuschätzen, ob der Messwert den Anforderungen entspricht oder nicht.

Zur Ermittlung der Messgenauigkeit eines Messsystems sind als Grundlage die DIN ISO 5725-1 „Genauigkeit von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe“ [106] und die DIN ISO 5725-2 „Genauigkeit von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederholpräzision und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens“ [107] heranzuziehen. Für die Interpretation bietet die DIN ISO 5725-6 „Genauigkeit von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 6: Anwendung von Genauigkeitswerten in der Praxis“ [108] Hilfestellung.

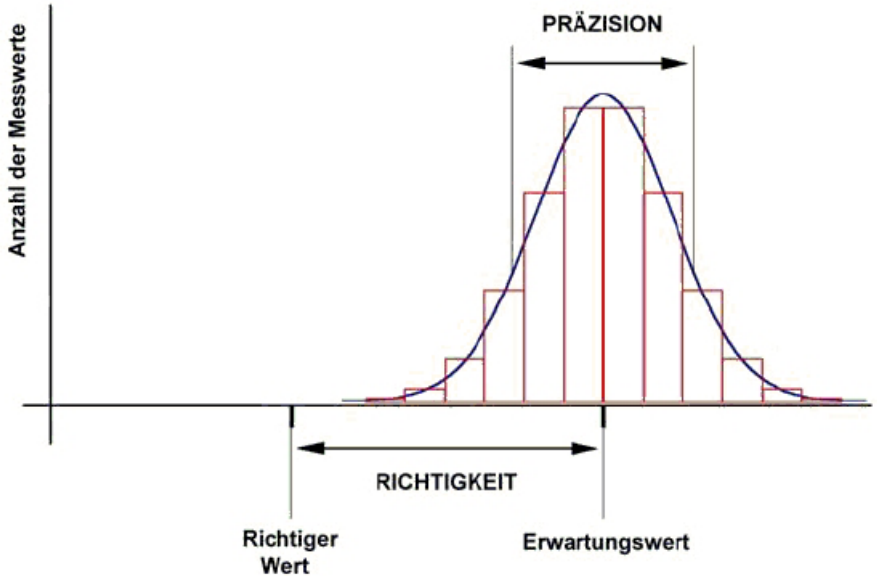


Abbildung 6-1: Genauigkeit – Richtigkeit – Präzision [109]

Für die Beschreibung der Messgenauigkeit werden die Ausdrücke „Genauigkeit“, „Richtigkeit“ und „Präzision“ verwendet. Die „Genauigkeit“ bezieht sich auf das Ausmaß der Annäherung zwischen einem Ermittlungsergebnis und einem anerkannten Bezugswert. Unter „Richtigkeit“ versteht man das Ausmaß der Annäherung zwischen dem Mittelwert aus einer großen Serie von

Ermittlungsergebnissen und einem wahren oder richtigen Wert (siehe Abbildung 6-1). Die „Präzision“ beschreibt hingegen das Ausmaß der gegenseitigen Annäherung von Ermittlungsergebnissen, welche im Rahmen von Ringversuchen ermittelt wird [106].

Eine Betrachtung der „Präzision“ ist erforderlich, weil Untersuchungen an vermutlich identischem Material unter vermutlich identischen Bedingungen im Allgemeinen nicht zu identischen Ergebnissen führen. Dies ist auf unvermeidliche Zufallsabweichungen zurückzuführen, die jedem Messverfahren eigen sind, da die das Ermittlungsergebnis beeinflussenden Faktoren nicht alle vollständig beherrscht werden können. Viele unterschiedliche Faktoren können (abgesehen von Streuungen zwischen vermeintlich identischen Proben) zu den Schwankungen der Ergebnisse eines Messverfahrens beitragen:

a) der Bearbeiter
b) die verwendeten Geräte
c) die Kalibrierung der Geräte
d) die Umgebungsbedingungen (z.B. Temperatur)
e) der Zeitabstand zwischen den Messungen

Die Streuung zwischen den Ergebnissen von Messungen, die durch verschiedene Bearbeiter und/oder mit verschiedenen Geräten gewonnen wird, ist meist größer als die Streuung zwischen den Ergebnissen von Messungen, die in kurzem Zeitabstand durch einen einzigen Bearbeiter mit denselben Geräten erzielt wird.

Die „Richtigkeit“ eines Messverfahrens hat nur dann Bedeutung, wenn man sich einen wahren Wert für das Merkmal vorstellen kann. Obwohl der wahre Wert bei einigen Messverfahren nicht genau bekannt sein kann, hat man möglicherweise einen anerkannten Bezugswert für das zu messende Merkmal. Beispielsweise wenn Referenzmaterialien zur Verfügung stehen, oder wenn der anerkannte Bezugswert durch ein anderes Messverfahren festgestellt werden kann. Die Richtigkeit des Messverfahrens kann durch Vergleich zwischen dem anerkannten Bezugswert und der Lage der durch das Messverfahren gelieferten Ergebnisse ermittelt werden und wird normalerweise mittels systematischer Abweichungen ausgedrückt.

Der Begriff „Genauigkeit“ wurde früher benutzt um nur die eine, jetzt Richtigkeit, genannte Komponente zu bezeichnen. Der allgemeine Ausdruck Genauigkeit bezieht sich auf beides, auf Richtigkeit und Präzision.

Bei Untersuchungen im Straßenwesen werden aus einer vorliegenden, zu beurteilenden Grundgesamtheit Proben entnommen bzw. Probeflächen festgelegt. Bei der qualitativen Bestimmung von technischen Eigenschaften mit Hilfe eines Prüfverfahrens, weichen die einzelnen, an demselben oder an vergleichbaren Messobjekten erhaltenen Messwerte voneinander ab. Diese Abweichungen können systematisch in einer bestimmten Richtung auftreten oder völlig regellos d.h. zufällig sein. Die Ursachen systematischer Prüfergebnis-Abweichungen können erfassbar oder nicht erfassbar sein. Die erfassbaren systematischen Messfehler müssen durch Korrekturwerte ausgeglichen werden. Zufallsbedingte Abweichungen der Messwerte sind unvermeidbar und kommen durch unbeeinflussbare und im Einzelfall

unbestimmbare Einflüsse zustande. Als Maß für die Streuung der zufallsbedingten Abweichungen werden die Standardabweichung und daraus abgeleitete statistische Kenngrößen verwendet [110].

6.2 Statistische Kenngrößen

Statistische Kenngrößen sind zahlenmäßige Angaben zur Beschreibung der Eigenschaften von Messreihen, von Merkmalverteilungen in Grundgesamtheiten und von Wahrscheinlichkeitsverteilungen bei Zufallsvorgängen (wie z.B. Prüfverfahren). Als Voraussetzung gilt die Gaußsche Normalverteilung der Messergebnisse sowie der Grundgesamtheit.

6.2.1 Auswertung von Ringversuchen

Die Auswertung eines Ringversuches, die als eine statistische Aufgabe betrachtet werden sollte, umfasst drei aufeinander folgende Punkte [107]:

- Kritisches Prüfen der Daten mit dem Ziel, Ausreißer oder andere Unregelmäßigkeiten zu erkennen und zu behandeln.
- Errechnen vorläufiger Werte für Präzision und Messniveaumittelwerte, getrennt für jedes Messniveau.
- Feststellen der Schlusswerte der Präzision, eingeschlossen die Ermittlung einer Beziehung zwischen Präzision und Messniveaumittelwert, sofern die Auswertung anzeigt, dass eine solche Beziehung bestehen kann.

6.2.2 Ausreißerprüfung

Zur Ausreißerprüfung werden die Ermittlungsergebnisse gemäß [107] und dem „Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen – Teil 2: Erkennen und Behandeln von Ausreißern“ [111], nach echten Ausreißern untersucht. Als erstes werden nach dem Test von *David, Hartley und Pearson* die Extremwerte je Messniveau bei einer zulässigen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1 % überprüft. Parallel dazu wird nach dem Verfahren von *Ferguson* geprüft, ob mehr als zwei ausreißerverdächtige Messwerte, bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1 %, auf einem Messniveau vorliegen.

Nachdem die Ausreißer identifiziert wurden, erfolgt eine Überprüfung der Standardabweichungen gemäß [107] und dem „Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen – Teil 4: Auswertung von Ringversuchen und Errechnung von Prüffehlern“ [112]. Getrennt für jedes Messniveau werden mittels Cochran-Test die Standardabweichungen s_{ij} auf deren Verträglichkeit mit den übrigen Standardabweichungen bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1 % überprüft.

Sofern die Prüfgrößen größer als die Grenzen des kritischen Bereiches für ein Signifikanzniveau von 1 % sind, wird die geprüfte Einheit als „statistischer Ausreißer“ bezeichnet und für die weitere Berechnung ausgeschieden.

6.2.3 Präzision

Es wird zwischen zwei Präzisionsbedingungen unterschieden, den Wiederholbedingungen und den Vergleichbedingungen, um die Streuung der Ergebnisse bei Anwendung eines Messverfahrens zu beschreiben. Unter Wiederholbedingungen werden die Kapitel 6.1 genannten Faktoren a) bis e) als unverändert betrachtet, und tragen somit nicht zur Streuung bei, während sie unter Vergleichbedingungen variieren und zur Streuung der Ermittlungsergebnisse beitragen. Die Streuung unter Wiederhol- und Vergleichbedingungen wird ausgedrückt durch die Wiederholstandardabweichung s_r und die Vergleichstandardabweichung s_R, die das Minimum und das Maximum der Ergebnisstreuung darstellen und im Rahmen von Ringversuchen ermittelt werden. Diese Standardabweichungen setzten sich aus folgenden Schätzwerten zusammen [107]:

- s_w Schätzwert für die Wiederholstandardabweichung eines Messgerätes,
- s_r Schätzwert für die Wiederholstandardabweichung mehrerer Messgeräte die sich an einem Ringversuch beteiligen (arithmetischer Mittelwert von s_w),
- s_L Schätzwert für die Standardabweichung zwischen den Messgeräten die sich an einem Ringversuch beteiligen,
- s_R Schätzwert für die Vergleichstandardabweichung

6.2.4 Wiederholbedingungen

Unter Wiederholbedingungen versteht man jene Bedingungen bei der Gewinnung von voneinander unabhängigen Ermittlungsergebnissen, bestehend in der Anwendung desselben Verfahrens am identischen Untersuchungsobjekt im selben Labor durch denselben Bearbeiter mit der selben Geräteausrüstung in kurzen Zeitabständen [106].

Für Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester bedeutet das, dass nach einem festgelegten Prüfverfahren unmittelbar hintereinander mit der selben Messsystemkonfiguration (Zugfahrzeug, Fahrer, Bewässerungssystem, Datenerfassungseinheit, GripTester und ev. orientierungsunterstützendes System) und möglichst in derselben Rollspur der Messstrecke gemessen werden muss.

6.2.5 Vergleichbedingungen

Unter Vergleichbedingungen versteht man jene Bedingungen bei der Gewinnung von voneinander unabhängigen Ermittlungsergebnissen, bestehend in der Anwendung desselben Verfahrens an identischen Untersuchungsobjekten in

verschiedenen Labors durch verschiedene Bearbeiter mit verschiedenen Geräteausrüstungen [106].

Für die Griffigkeitsmessungen bedeutet das, dass ebenfalls nach einem festgelegten Prüfverfahren in größeren Zeitabständen aber mit verschiedenen Messsystemkonfigurationen (Zugfahrzeug, Fahrer, Bewässerungssystem, Datenerfassungseinheit, GripTester und ev. orientierungsunterstützendes System) und trotzdem möglichst in derselben Rollspur der Messstrecke gemessen werden muss.

6.2.6 Mittelwert

Die experimentelle Bestimmung eines Merkmals einer Probe hat im Allgemeinen den Zweck, Aufschluss über den wahren Wert dieses Merkmals in der Grundgesamtheit zu erhalten. Der wahre Wert ist der Wert, dem das arithmetische Mittel y_{ij} aus n_{ij} Ergebnissen zustrebt, wenn n_{ij} gegen unendlich geht. Erst bei großen Werten von n_{ij} darf man das arithmetische Mittel näherungsweise an die Stelle des wahren Wertes setzen. Der arithmetische Mittelwert ergibt sich aus den einzelnen Messwerten y_{ijk} je Messniveau *j* wie folgt [107]:

$$y_{ij} = \frac{1}{n_{ij}} \sum_{k=1}^{nij} y_{ijk}$$

Formel 6-1

Tiefgestellte Indizes für die Formeln 6-1 bis 6-11:

i	Zuordnungsindex für ein einzelnes Labor (z.B. GripTester)
j	Zuordnungsindex für ein einzelnes Messniveau (z.B. 50-m-Abschnitt)
k	Zuordnungsindex für ein einzelnes Ermittlungsergebnis eines Labors
r	Wiederholbedingungen
R	Vergleichbedingungen

6.2.7 Standardabweichung

Die empirische Standardabweichung s_{ij} stellt ein Maß für die zufallsbedingten Abweichungen der Ergebnisse vom arithmetischen Mittel y_{ij} des betrachteten Merkmals dar. Die theoretische Standardabweichung σ ist der Wert, dem die empirische Standardabweichung *s* zustrebt, wenn n_{ij} gegen unendlich geht. Erst bei hinreichend großem n_{ij} darf man die Standardabweichung s_{ij} vom arithmetischen Mittel der Standardabweichung σ vom wahren Wert gleichsetzen. Die Berechnung der Standardabweichung je Messniveau *j* erfolgt nach [107]:

$$s_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n_{ij} - 1} \sum_{k=1}^{nij} (y_{ijk} - y_{ij})^2}$$

Formel 6-2

Werden je Messniveau nur zwei Messwerte ermittelt, können zur Vereinfachung auch die Beträge der Differenzen herangezogen werden:

$$s_{ij} = \frac{\left| y_{ij1} - y_{ij2} \right|}{\sqrt{2}}$$

Formel 6-3

6.2.8 Messniveaumittelwert

Für jedes Messniveau ist der als Schätzwert für den Erwartungswert dienende Messniveaumittelwert m_j gleich [107]:

$$m_j = \frac{\sum_{i=1}^{p} n_{ij} y_{ij}}{\sum_{i=1}^{p} n_{ij}}$$

Formel 6-4

6.2.9 Wiederholstandardabweichung

Die Wiederholstandardabweichung s_{rj} ist jene Standardabweichung von Ermittlungsergebnissen, die unter Wiederholbedingungen gewonnen wird. Sie ist ein Maß für die Breite der Verteilung von Ermittlungsergebnissen unter Wiederholbedingungen und wird für jedes Messniveau *j* getrennt ermittelt [107]:

$$s_{rj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{p} (n_{ij} - 1) {s_{ij}}^2}{\sum_{i=1}^{p} (n_{ij} - 1)}}$$

Formel 6-5

6.2.10 Vergleichstandardabweichung

Die Vergleichstandardabweichung s_{Rj} ist jene Standardabweichung von Ermittlungsergebnissen, die unter Vergleichbedingungen gewonnen wird. Sie ist ein Maß für die Breite der Verteilung von Ermittlungsergebnissen unter Vergleichbedingungen. Zur Berechnung der Vergleichstandardabweichung muss vorher die Streuung s_{Lj} zwischen den Labors (*i* = 1 bis *p*) ermittelt werden [107]:

$$s_{Lj} = \sqrt{\frac{{s_{dj}}^2 - {s_{rj}}^2}{\overline{n_j}}}$$

Formel 6-6

wobei

$$s_{dj}^2 = \frac{1}{p-1}\sum_{i=1}^{p} n_{ij}(y_{ij} - m_j)^2$$ **Formel 6-7**

und

$$\overline{\overline{n_j}} = \frac{1}{p-1}\left[\sum_{i=1}^{p} n_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^{p} n_{ij}^{\,2}}{\sum_{i=1}^{p} n_{ij}}\right]$$ **Formel 6-8**

Ergibt sich im Zuge der Berechnungen zufallsbedingt ein negativer Wert für s_{Lj}, ist dieser Wert mit Null einzusetzen. Die Vergleichstandardabweichung wird für jedes Merkmalsniveau getrennt ermittelt und setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$s_{Rj} = s_{Lj} + s_{rj}$$ **Formel 6-9**

6.2.11 Funktionale Abhängigkeit der Standardabweichungen

Wenn der Versuch nur ein einziges Messniveau beinhaltet oder wenn entschieden wurde, dass die Wiederhol- und Vergleichstandardabweichungen getrennt für jedes Messniveau angegeben werden, ist eine Prüfung der funktionalen Abhängigkeit nicht notwendig. Wenn mehrere Messniveaus untersucht werden und nur ein Präzisionswert für alle Niveaus ermittelt werden soll, muss geprüft werden, ob eine funktionale Beziehung zwischen den Präzisionswerten s_{rj} bzw. s_{Rj} und den Messniveaumittelwerten m_j besteht. Wenn keine Beziehung vorhanden ist, können die Schlusswerte für die Wiederhol- und Vergleichstandardabweichung über alle Messniveaus gemittelt werden [107].

6.2.12 Wiederholgrenze

Dies ist jener Wert, unter dem oder gleich dem der Betrag der Differenz zwischen zwei unter Wiederholbedingungen gewonnenen Ermittlungsergebnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % erwartet werden kann und der dieselbe Einheit wie der Messwert hat. Die Wiederholgrenze r wird nach Formel 6-10 berechnet und dient dazu, die Verträglichkeit von zwei Ergebnissen zu prüfen, die in einem Laboratorium von einem Beobachter an ein und derselben Probe erhalten wurden [107].

$$r = 1{,}96 \times \sqrt{2} \times s_r \approx 2{,}8 \times s_r$$ **Formel 6-10**

6.2.13 Vergleichgrenze

Das ist jener Wert, unter dem oder gleich dem der Betrag der Differenz zwischen zwei unter Vergleichbedingungen gewonnenen Ermittlungsergebnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % erwartet werden kann und der ebenfalls dieselbe Einheit wie der Messwert hat. Die Vergleichgrenze R wird nach Formel 6-11 berechnet und dient dazu, die Verträglichkeit von zwei Ergebnissen zu prüfen, die in zwei Laboratorien von zwei Beobachtern an Teilproben aus derselben Probenahme erhalten wurden [107].

$$R = 1{,}96 \times \sqrt{2} \times s_R \approx 2{,}8 \times s_R \qquad \textbf{Formel 6-11}$$

6.2.14 Vertrauensbereich

Der Vertrauensbereich bzw. die Vertrauensgrenzen *q* gemäß Formel 6-12 definieren jenen Bereich beiderseits des arithmetischen Mittelwerts $\overline{x}$ einer Stichprobe, in dem der unbekannte wahre Mittelwert der Grundgesamteinheit mit einer festgelegten statistischen Sicherheit P liegt [113] [114].

$$q = \overline{x} \pm \frac{c \times \sigma}{\sqrt{n}} \qquad \textbf{Formel 6-12}$$

Der Faktor *c* wird je nach gewünschter statistischer Sicherheit und Aufgabenstellung gewählt. Für ein P = 95 % beträgt *c* = 1,96 für den einseitigen und *c* = 1,65 für den zweiseitigen Vertrauensbereich. Für σ wird die Standardabweichung der Stichprobe oder falls durch Ringversuche bereits die Wiederhol- bzw. Vergleichstandardabweichung bekannt sind, diese zur Ermittlung des Vertrauensbereiches bzw. der Vertrauensgrenzen *q* herangezogen. Der Faktor *n* steht für die Größe der Stichprobe, d.h. durch Mehrfachmessungen kann der Vertrauensbereich wesentlich reduziert werden.

6.3 Messgenauigkeit aus Ringversuchen

In den Jahren 1993 und 2004 wurden in Großbritannien mit dem Messsystem GripTester Ringversuche zur Ermittlung der Messgenauigkeit durchgeführt. Allerdings liegen diesen Ergebnissen teilweise unterschiedliche standardisierte Messverfahren (Messgeschwindigkeit, Wasserfilmdicke, Auswerteintervall) und Messbedingungen zu Grunde, weshalb die Ergebnisse nur bedingt brauchbar sind. Trotzdem werden als Vergleichsgrundlage die wesentlichsten Resultate und Erkenntnisse dieser Ringversuche zusammenfassend dargestellt.

In Deutschland wurden in den Jahren 2002, 2003 und 2004 ebenfalls Ringversuche mit dem GripTester durchgeführt, bei denen die Messdurchführungen zum Großteil mit der neuen österreichischen Richtlinie RVS 11.06.71 verträglich

waren. Das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien hat an diesen Ringversuchen mit dem institutseigenen GripTester teilgenommen. Die Ringversuche wurden vom Institut für Verkehr der Technischen Universität Darmstadt (Prof. Dr.-Ing. Stefan Bald) geleitet. Der Ringversuch 2002 fand im Rahmen eines Forschungsvorhabens [115] der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) statt. Die Ringversuche 2003 und 2004 erfolgten auf Initiative der „GripTester-Usergroup“, einer freiwilligen Gruppierung von Anwendern des GripTesters zum Informations- und Erfahrungsaustausch. Den Ringversuchsteilnehmern wurden die Rohdaten aller Griffigkeitsmessungen dankenswerter Weise für eigene Auswertungen zur Verfügung gestellt, welche einen wesentlichen Bestandteil dieser Dissertation bilden.

Die Ermittlung der Messgenauigkeit erfolgte prinzipiell nach dem Verfahren der DIN ISO 5725. Im Rahmen dieser Arbeit wurden anhand der Daten der drei Ringversuche aus Deutschland die Schätzwerte für die Wiederhol- und Vergleichstandardabweichung sowie die Wiederhol- und Vergleichgrenze für ein Auswerteintervall von 50 m berechnet, welches in Österreich die Standardlänge für die Beurteilung der Griffigkeit ist. Weiters wurden auf Basis der Streuungen auch die Vertrauensbereiche für einen einzelnen 50-m-Mittelwert bestimmt. Die Auswertung der TU-Darmstadt erfolge hingegen auf Basis eines Auswerteintervalls von 100 m und Paarbildung von zwei Messungen sowie unter der Anwendung von Korrekturfunktionen (z.B. für Messgerät und Geschwindigkeit), wodurch andere Präzisionswerte resultieren. Als Endergebnis war hier der einseitige Vertrauensbereich (das sogenannte Vorhaltemaß) für einen 100-m-Mittelwert aus einer Doppelmessung von Interesse.

6.3.1 GT Ringversuch Großbritannien 1993

Erste Versuche im Mai 1992 zeigten, dass die Präzision des GripTesters verbessert werden muss, damit dieses Messsystem für den Einsatz auf dem hochrangigen Straßennetz geeignet ist. Der Hersteller Findlay Irvine nahm folgende Veränderungen am GripTester vor, welche die Wiederhol- und Vergleichpräzision erhöhen sollten:

- Erhöhung des Zugdeichselanschlusses am GripTester
- Modifikation der Messradachse
- Temperaturkompensator im Signal Process Unit (SPU)

Im Mai 1993 konnte auf dem Testgelände des Transport Research Laboratory (TRL) ein Vorversuch mit 24 GripTestern durchgeführt werden. Die Ergebnisse zeigten eine deutliche Verbesserung der Präzision. Daher wurde ein Ringversuch im September 1993 durchgeführt, an dem vier Institutionen mit je einem GripTester teilnahmen (Tabelle 6-1) [116].

Für diese Untersuchungen wurden zwölf 130 m lange Messstrecken mit verschiedenen Griffigkeitsniveaus und Deckschichttypen auf dem TRL-Testgelände festgelegt, welche identisch mit jenen im Vorversuch waren. Weiters wurden zusätzlich zu den bisher standardmäßigen „F-Series“-Messreifen auch Messreifen

nach ASTM-Standard eingesetzt. Zu Beginn wurde mit jedem GripTester eine Testmessung zur Eingewöhnung durchgeführt, welche nicht für die Auswertung verwendet wurde. Danach folgten je Gerät vier Wiederholungsmessungen mit dem alten Messreifen gefolgt von vier Messungen mit dem neuen Messreifen. In Tabelle 6-2 sind die Parameter des Ringversuches zusammengefasst.

Tabelle 6-1: Teilnehmer Ringversuch 1993

Teilnehmer/Insitution	Land	GripTester		Anmerkung
		Anzahl	Typ	
Berkshire County Council	Großbritannien	1	MK1	Teilnehmer Vorversuch
Buckinghamshire County Council	Großbritannien	1	MK1	Teilnehmer Vorversuch
Hampshire County Council	Großbritannien	1	MK1	Teilnehmer Vorversuch
West Sussex County Council	Großbritannien	1	MK1	Teilnehmer Vorversuch

Tabelle 6-2: Parameter Ringversuch 1993

Parameter Ringversuch 1993		Anmerkung
Messstreckenanzahl	12	zwei Rundlkurse mit verschiedene Griffigkeitsniveaus, teilweise direkt hintereinander angeordnet
Messstreckenlängen [m]	130	
Anzahl der Messfahrten je GripTester	2x4	zwei verschiedene Messreifen (F-Series, ASTM)
Messgeschwindigkeit [km/h]	50	
Wasserfilmdicke [mm]	0,40	18 l/min

Da nur vier GripTester an diesem Ringversuch beteiligt waren, konnte die Präzision nicht mit ausreichender Genauigkeit abgeschätzt werden, aber es zeigte sich, dass die Ergebnisse mit jenen des Vorversuches sehr gut übereinstimmten. Weiters konnte festgestellt werden, dass die Wiederholbarkeit mit beiden Messreifen gleich war, aber die Vergleichbarkeit mit den neuen „ASTM“-Messreifen schlechter wurde. Dazu muss aber angemerkt werden, dass einer der GripTester bei der ersten Messserie mit den „F-Series“-Messreifen noch nicht einsatzbereit war. Betrachtet man nun die Messungen mit beiden Messreifen zusammen, verschlechtert sich nochmals die Vergleichbarkeit deutlich (siehe Tabelle 6-3). Allerdings war die Korrelation der beiden Messreifen mit einer linearen Funktion durch den Ursprung exzellent (R^2 = 0,998), womit die Umstellungsmöglichkeit auf den neuen Messreifen gegeben war.

Tabelle 6-3: Präzision Ringversuch 1993

Ringversuch 1993	Präzision 130-m-Mittelwerte			
	s_r	r	s_R	R
3 GripTester MK1 mit F-Series Messreifen	0,0089	0,025	0,0193	0,053
4 GripTester MK1 mit ASTM Messreifen	0,0097	0,027	0,0252	0,068
4 GripTester MK1 mit beiden Messreifen	0,0096	0,027	0,0280	0,078

6.3.2 GT Ringversuch Deutschland 2002

Um die Eignung des Messsystems GripTester festzustellen, wurde vom 16. bis 20. September 2002 in Deutschland ein Ringversuch durchgeführt [115] [117]. Dabei sollte auch die Präzision mit und ohne Nutzung eines orientierungsunterstützenden Spurführungssystems (SFS) bestimmt werden. Dieses System dient der Unterstützung des Fahrers bei der Spurhaltung sowie der Dokumentation der gefahrenen Spur. Bei der Auswertung können Ausreißer anhand der zugehörigen Videoaufzeichnung bei Bedarf überprüft werden (Überholmanöver, Schmutz auf der Fahrbahn, usw.). Das System besteht aus Digitalkamera, GPS-Empfänger, Leuchtdiodenanzeige, Laptop und einer eigens entwickelten Software. Die Kamera wird innen an der Windschutzscheibe des Zugfahrzeuges montiert und sendet während der Aufnahme ein Bild an den Laptop (siehe Abbildung 6-2). Durch einprogrammierte GPS-Daten wird die Aufzeichnung der Kameradaten automatisch gestartet und beendet und läuft somit parallel zur Messdatenaufnahme des GripTesters. Die Software erkennt aufgrund des Kontrasts die Fahrbahnrandmarkierung und den Abstand zu dieser. Über die Leuchtdiodenanzeige bekommt der Fahrer ein Signal, ob er sich zu weit links oder rechts vom vorgegebenen Sollabstand befindet.

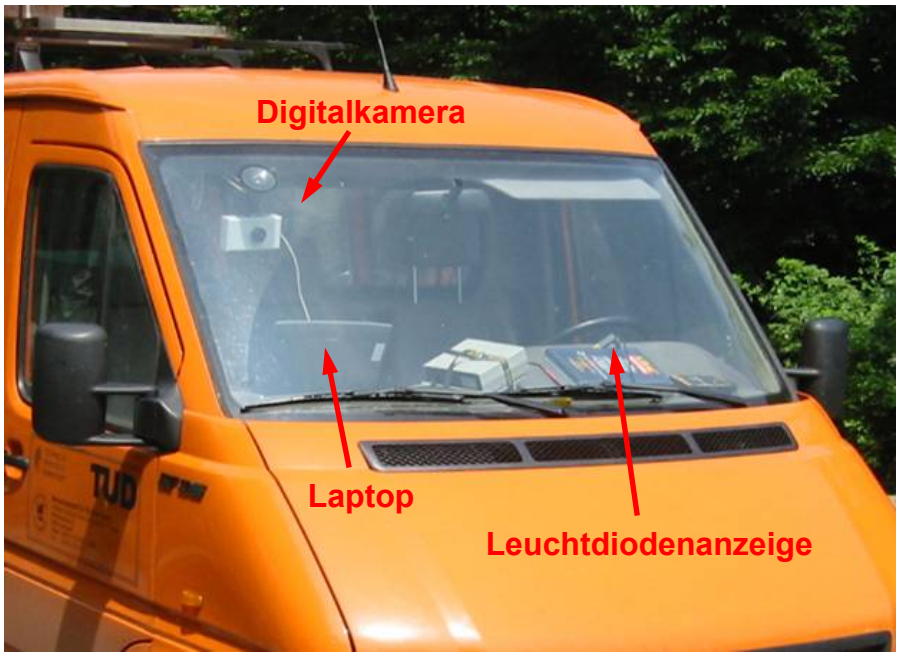


Abbildung 6-2: Spurführungssystem RV 2002

Insgesamt nahmen acht Institutionen und sieben GripTester am Ringversuch teil (siehe Tabelle 6-4). Alle GripTester wurden vor dem Ringversuch beim Hersteller Findlay Irvine Ldt. in Schottland gewartet, überprüft und mit einem neuem Messreifen sowie einer neuen Wasseraufbringungsdüse ausgestattet. Weiters wurden alle Griffigkeitsmesssysteme mit einer einheitlichen Software ausgestattet. Dazu mussten jene Messsysteme, die noch die alte Datenerfassungseinheit (Husky-Hunter 16) verwendeten, auf einen Laptop umgerüstet werden.

Tabelle 6-4: Teilnehmer Ringversuch 2002

Teilnehmer/Insitution	Land	GripTester			Anmerkung
		Nr.	Typ	Baujahr	
Bau- und Bodenprüfstelle Darmstadt	Deutschland	GT 082	MK1	1995	
Technische Universität Darmstadt	Deutschland	GT 095	MK1	1996	Ringversuchsleitung, Ausreißer
Mechatronic GmbH	Deutschland	GT 101	MK1	1996	Ausreißer
Technische Universität Wien	Österreich	GT 135	MK1	1996	
Baustoff- und Boden-prüfstelle Karlsruhe	Deutschland	GT 213	MK1	1999	
Bundesanstalt für Straßenwesen	Deutschland	GT 216	MK1	2000	Unfall/Ausgeschieden
Landesgewerbeanstalt Nürnberg	Deutschland	GT 273	MK1	2002	Defekt/Ausgeschieden
Findlay Irvine Ltd.	Großbritannien	-	-	-	Technische Betreuung

Für den Ringversuch wurden insgesamt vier Messstrecken mit einer Länge von je 2,0 km und einer zusätzlichen Vorlaufstrecke von 0,5 km ausgewählt. Zwei befanden sich im Bundesland Hessen und zwei im Bundesland Nordrhein-Westfahlen. Bei der Auswahl der Untersuchungsstrecken wurde darauf geachtet, dass man verschiedene Oberflächentypen berücksichtigt und der Streckenverlauf eine geringe Kurvigkeit und Längsneigung aufweist.

Die Messstrecke A 67s liegt zwischen Darmstadt und Mannheim westlich von Bensheim. Der Messbereich erstreckt sich von km 39,5 bis km 41,5, Richtungsfahrbahn Mannheim. In diesem Streckenbereich gliedert sich die Richtungsfahrbahn in zwei Fahrstreifen und einen Abstellstreifen. Die Deckschicht bestand aus einem Splittmastixasphalt SMA 0/11 und wurde 1999 eingebaut. Die mittlere Spurrinnentiefe betrug im Jahr 2001 ca. 1 mm.

Die Messstrecke A 67n liegt ebenfalls zwischen Darmstadt und Mannheim westlich von Bensheim. Der Messbereich erstreckt sich von km 40,7 bis km 38,7, Richtungsfahrbahn Darmstadt. In diesem Streckenbereich gliedert sich die Richtungsfahrbahn in zwei Fahrstreifen und einen Abstellstreifen. Die Deckschicht

bestand ebenfalls aus einem Splittmastixasphalt SMA 0/11 und wurde 1999 eingebaut. Die mittlere Spurrinnentiefe betrug im Jahr 2001 ca. 1 mm.

Die Messstrecke A 44, Fahrtrichtung Westen von km 108,92 bis 110,92 liegt südöstlich von Soest. Wegen einer Baustelle im Messbereich musste die Messstrecke vor Ort kurzfristig um 420 m nach Osten verschoben werden, womit der neue Messbeginn bei km 108,5 und das neue Messende bei km 110,5 liegen. Dieser Streckenbereich liegt auf einer Richtungsfahrbahn, bestehend aus zwei Fahrstreifen und einem Abstellstreifen. Bei der Deckschicht handelte es sich um eine Betonversuchsstrecke mit verschiedenen Texturtypen (Jutetuch, Kamm, Besenstrich).

Die Messstrecke B 516 befindet sich nordöstlich von Warstein bei Rüthen. Der Messbereich beginnt bei km 2,0 und endet bei km 0,0 in Fahrtrichtung Westen. Die Fahrbahn besteht aus zwei Fahrstreifen mit jeweils befestigten Seitenstreifen. Die Deckschicht wurde 1998 eingebaut und bestand aus Asphaltbeton AB 0/11S mit Diabas. Im Gegensatz zu den anderen Messstrecken weist die B 516 mehrere Kurven auf, eine deutliche Längsneigung war nur im Bereich der Vorlaufstrecke gegeben.

In Tabelle 6-5 sind alle wesentlichen Parameter des Ringversuches zusammengefasst. Auf jeder Messtrecke wurden zusätzlich mit jedem GripTester am Beginn sogenannte „Nullmessungen“ durchgeführt, welche zum Einfahren des Messreifens und als Orientierungsfahrten für die Fahrer dienten, aber nicht für die Datenauswertung herangezogen wurden.

Tabelle 6-5: Parameter Ringversuch 2002

Parameter Ringversuch 2002		**Anmerkung**
Messstrecken	A67s	Autobahn, SMA
	A67n	Autobahn, SMA
	A44	Autobahn, Betonversuchsstrecke
	B516	Bundestraße, Asphaltbeton
Messstreckenlängen [km]	2,0	+ 0,5 km Vorlaufstrecke
Messspurlage von der rechten Randlinie [cm]	60	± 15 cm
Anzahl der Messfahrten je GripTester	6	mit Spurführungssystem
	6	ohne Spurführungssystem
Zeitabstand zwischen den Messungen [min]	5-10	Sichtfahrten zum Vorgänger ausschließen
Messgeschwindigkeit [km/h]	80±4	Autobahn
	60±4	Bundesstraße
Wasserfilmdicke [mm]	0,5	
Einzelwerterfassung [m]	0,4	
Datenaufzeichnungsintervall [m]	10	

Leider schieden am ersten Messtag aufgrund eines Unfalls und eines Defektes zwei GripTester aus. Von den verbleibenden fünf GripTestern wurden im Zuge der Auswertung zwei eindeutig als Ausreißer definiert, womit nur mehr die

Messergebnisse von dreien (darunter war auch der österreichische GT 135) für die Ermittlung der Präzision herangezogen werden konnten. In Abbildung 6-3 sind die Wiederhol- und Vergleichstandardabweichungen je Messtrecke gegenübergestellt.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass bei den Messungen mit dem Spurführungssystem eine geringfügig schlechtere Wiederholgenauigkeit erzielt wurde als ohne Verwendung des SFS. Wahrscheinlich war es für die Fahrer leichter dieselbe Messspur zu finden, wenn sie sich nur auf die Straße konzentrieren müssen und nicht noch zusätzlich auf die Anweisungen des Spurführungssystems. Weiters wurde das Spurführungssystem von einem Großteil der Fahrer erstmalig verwendet, wodurch sie mit der Anwendung noch nicht richtig vertraut waren. Dafür konnte aber unter Verwendung des Spurführungssystems erwartungsgemäß eine bessere Vergleichgenauigkeit erreicht werden, da hier alle Fahrer besser dieselbe Messspur trafen. Ohne Nutzung des SFS muss man ja davon ausgehen, dass jeder Fahrer eine etwas andere Messlinie abfahren würde. Der erwartete große Vorteil des Spurführungssystems konnte bei diesem Ringversuch allerdings nicht klar festgestellt werden.

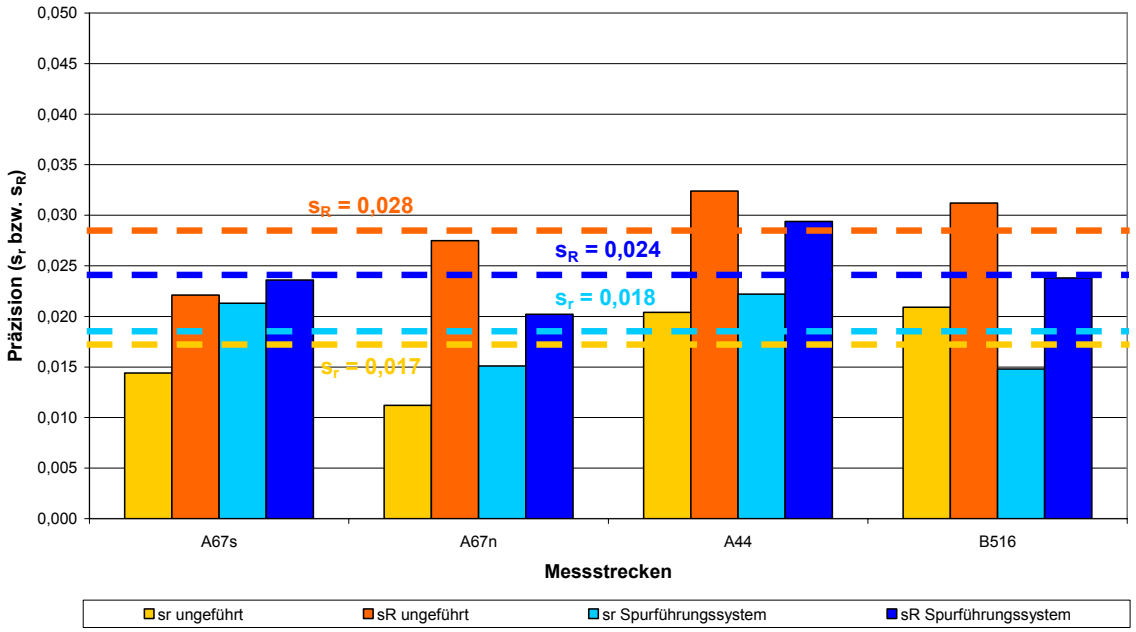


Abbildung 6-3: Wiederhol- und Vergleichstandardabweichungen je Messtrecke, RV 2002

Auffallend war auch, dass bei den Messungen ohne Spurführungssystem die Niveaumittelwerte durchschnittlich niedriger waren als bei Verwendung des SFS. Eine Ursache könnte sein, dass bei der freien Orientierung im Straßenraum die Fahrer besser die Rollspur mit der geringsten Griffigkeit finden konnten, oder der voreingestellte Abstand des Spurführungssystems fällt nicht immer mit der Rollspur zusammen, welche die geringste Griffigkeit aufweist. Da keine funktionale Abhängigkeit zwischen den Präzisionswerten und den Messniveaumittelwerten nachgewiesen werden konnte (siehe Anhang A), wurden die Ergebnisse zusammengefasst. Die Präzisionswerte gemäß Tabelle 6-6 wurden nur auf Basis von

drei GripTestern je Gruppe ermittelt, somit stellen sie nicht die endgültige Messgenauigkeit dar, sondern können allenfalls als vorläufig betrachtet werden.

Tabelle 6-6: Präzision Ringversuch 2002

Ringversuch 2002	Präzision der 50-m-Mittlewerte			
	s_r	r	s_R	R
3 GripTester ohne Spurführungssystem	0,0167	0,047	0,0283	0,079
3 GripTester mit Spurführungssystem	0,0184	0,052	0,0242	0,068

6.3.3 GT Ringversuch Deutschland 2003

Da beim ersten Ringversuch nur von drei GripTestern brauchbare Daten zur Verfügung standen, wurde ein zweiter Ringversuch von 1. bis 5. Juni 2003 durchgeführt. Wiederum sollte die Präzision mit und ohne Nutzung eines orientierungsunterstützenden Spurführungssystems bestimmt werden. Es wurde wieder das vorjährige Spurführungssystem und zusätzlich ein neues Videosystem eingesetzt. Das Videosystem besteht aus einer Videokamera und einem Monitor (siehe Abbildung 6-4). Die Kamera wird im Fahrzeug so eingestellt, dass ein Fadenkreuz auf dem Monitor die Fahrbahnrandmarkierung erfasst. Der Fahrer oder Beifahrer kann somit ungefähr die Lage des Messfahrzeuges zur Randmarkierung kontrollieren, bekommt aber keine weitern Korrekturhilfen.

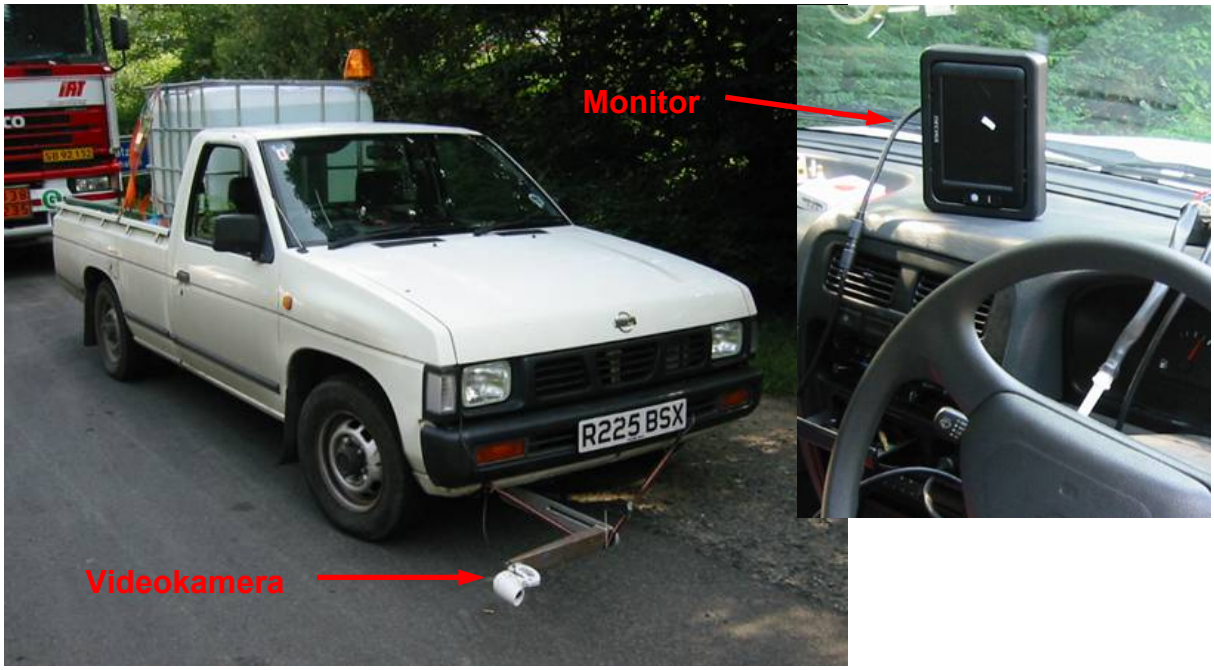


Abbildung 6-4: Videosystem RV 2003

Insgesamt nahmen sieben Institutionen und neun GripTester am Ringversuch teil. Alle GripTester wurden vor dem Ringversuch wieder vom Hersteller Findlay Irvine Ldt. gewartet, überprüft und mit neuen Messreifen ausgestattet. Weiters wurden alle GripTester an einem Referenzgerät kalibriert, um eine bessere

Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Dabei wurde bei einigen Geräten die „Vertikale Nullstellung“ der Messachse verändert, damit alle GripTester auf demselben Messniveau messen (siehe Tabelle 6-7).

Weiters wurden alle GripTester vom Betriebssystem DOS auf Windows umgestellt, da eine neue Software eingesetzt werden sollte. Im Zuge der Umstellung wurden auch alle Kabel- und Steckverbindungen auf den neuesten Stand gebracht. Wegen Problemen mit der neuen Software wurden aber alle GripTester wieder auf das Betriebssystem DOS zurückgestellt. Wegen Kompatibilitätsproblemen mit der alten Software konnte dadurch der GripTester GT 299 nicht weiter eingesetzt werden. Ebenfalls wurden mit dem GripTester GT 020 keine Messfahrten während des Ringversuchs durchgeführt. Somit standen sieben GripTester für die Durchführung der Messungen zur Verfügung.

Tabelle 6-7: Teilnehmer Ringversuch 2003

Teilnehmer/Insitution	Land	GripTester			Anmerkung
		Nr.	Typ	Baujahr	
Bau- und Bodenprüfstelle Darmstadt	Deutschland	GT 082	MK1	1995	
Technische Universität Darmstadt	Deutschland	GT 095	MK1	1996	Ringversuchsleitung
		GT 216	MK1	2000	Von BASt ausgeliehen, neue Nullstellung -0,006
Mechatronic GmbH	Deutschland	GT 101	MK1	1996	Neue Nullstellung +0,002
Technische Universität Wien	Österreich	GT 135	MK1	1996	Neue Nullstellung + 0,006
Baustoff- und Boden-prüfstelle Karlsruhe	Deutschland	GT 213	MK1	1999	Neue Nullstellung -0,004
Landesgewerbeanstalt Nürnberg	Deutschland	GT 273	MK1	2002	
Findlay Irvine Ltd.	Großbritannien	GT 020	MK1	?	Neue Nullstellung -0,014, keine Messungen
		GT 299	MK2	2003	Referenzgerät, Kompatibilitätsprobleme

Da aber nur zwei Spurführungssysteme und zwei Videosysteme für diesen Ringversuch zur Verfügung standen und jeder GripTester mit und ohne einem orientierungsunterstützenden System Messungen durchführen sollte, wurden bestimmte Zugfahrzeug/GripTester-Kombinationen gemäß Tabelle 6-8 festgelegt. Jeder GripTester sollte möglichst in jeder Gruppe vertreten sein. Dabei musste jedes Zugfahrzeug bzw. Messteam Griffigkeitsmessungen mit zwei bis drei GripTestern durchführen.

Tabelle 6-8: Zugfahrzeug/GripTester-Kombinationen, RV 2003

Zugfahrzeug/Messteam	Orientierungssystem	GripTester		
Technische Universität Darmstadt	Spurführungssystem	**GT 095**	**GT 101**	**GT 213**
Bau- und Bodenprüfstelle Darmstadt	Spurführungssystem	**GT 082**	**GT 135**	**GT 216**
Landesgewerbeanstalt Nürnberg	Videosystem	**GT 135**	**GT 213**	GT 273*
Findlay Irvine Ltd.	Videosystem	**GT 082**	**GT 101**	-
Baustoff- und Bodenprüfstelle Karlsruhe	-	GT 082*	GT 095*	**GT 273**
Technische Universität Wien	-	**GT 135**	**GT 213**	-

*) Nicht auf allen Messtrecken eingesetzt

Für den Ringversuch wurden insgesamt fünf Messstrecken mit einer Länge von je 2,0 km und einer zusätzlichen Vorlaufstrecke von 0,5 km ausgewählt. Alle befanden sich im Bundesland Hessen in unmittelbarer Umgebung von Darmstadt, um diesmal lange Überstellungszeiten zu vermeiden. Bei der Auswahl der Untersuchungsstrecken wurde darauf geachtet, dass man verschiedene Oberflächentypen berücksichtigt und der Streckenverlauf eine geringe Kurvigkeit und Längsneigung aufweist.

Es wurden wieder die Messstrecken A 67s und A 67n vom Ringversuch 2002 (siehe 6.3.2) ausgewählt, da der Messablauf dort schon allen Teilnehmer gut bekannt war.

Die Messstrecke B 3 befindet sich südlich von Darmstadt zwischen Pfungstadt und Birkenbach in einem Waldgebiet. Der Messbereich beginnt bei km 1,4 und endet bei km 3,4 in Fahrtrichtung Norden. Die Fahrbahn gliedert sich in zwei Fahrstreifen mit jeweils befestigten Seitenstreifen. Die Deckschicht bestand aus Asphaltbeton AB 0/11 und wurde im Jahr 1995 eingebaut.

Die Messstrecke A 5, Fahrtrichtung Norden von km 510,0 bis km 508,0 liegt nördlich von Darmstadt und östlich von Mörfelden. Aus Sicherheitsgründen (Autobahnabfahrt) wurde die Messstrecke aber um 500 m nach Süden verschoben, womit der neue Messbeginn bei km 510,5 und das neue Messende bei km 508,5 lagen. Dieser Streckenbereich liegt auf einer Richtungsfahrbahn, bestehend aus zwei Fahrstreifen und einem Abstellstreifen. Bei der Deckschicht handelte es sich um Beton.

Auf der weiters vorgesehene Messstrecke L 3094, welche aus zwei Deckschichten aus dem Jahr 1999 bestand (Asphaltbeton AB 0/11S und Splittmastixasphalt SMA 0/11S), wurden aus zeitlichen Gründen keine Messungen mehr durchgeführt.

In Tabelle 6-9 sind alle wesentlichen Parameter des Ringversuches zusammengefasst. Auf jeder Messtrecke wurden wieder mit jedem GripTester am Beginn sogenannte „Nullmessungen“ durchgeführt, welche zum Einfahren des Messreifens und als Orientierungsfahrten für die Fahrer dienten, aber nicht für die Datenauswertung herangezogen wurden.

Tabelle 6-9: Parameter Ringversuch 2003

Parameter Ringversuch 2003		Anmerkung
Messstrecken	A67s	Autobahn, SMA
	A67n	Autobahn, SMA
	B3	Bundesstraße, AB
	A5	Autobahn, Beton
	L3094	Landesstraße, AB+SMA, keine Messungen
Messstreckenlängen [km]	2,0	+ 0,5 km Vorlaufstrecke
Messspurlage von der rechten Randlinie [cm]	60	± 15 cm
Anzahl der Messfahrten je GripTester	6	ohne Spurführungssystem
	6	mit Videosystem
	6	mit Spurführungssystem
Zeitabstand zwischen den Messungen [min]	3-5	Sichtfahrten zum Vorgänger ausschließen
Messgeschwindigkeit [km/h]	80±4	Autobahn
	60±4	Bundesstraße u. Landesstraße
Wasserfilmdicke [mm]	0,5	
Einzelwerterfassung [m]	0,4	
Datenaufzeichnungsintervall [m]	10	

Aus Zeitgründen war es leider nicht möglich, mit allen geplanten Zugfahrzeug/GripTester-Kombinationen auf allen Strecken Messungen durchzuführen. Obwohl der Zeitabstand zwischen den Messungen schon verkürzt wurde, benötigte das Tauschen der GripTester zwischen den Fahrzeugen sowie das häufige Betanken der Fahrzeuge mit kleineren Wassertanks viel Zeit. Daher wurden für die Auswertung nur jene Daten herangezogen, wo je Gruppe (mit/ohne Spurführungssystem bzw. Videosystem) auf allen Messstrecken mit der gleichen Anzahl und den gleichen GripTestern Messungen durchgeführt wurden. Dafür konnte erfreulicher Weise bei diesem Ringversuch kein GripTester als Ausreißer definiert werden, ein Zeichen dafür, dass die Kalibrierung an einem Referenzgerät sich positiv auswirkte. Die Wiederhol- und Vergleichstandardabweichungen je Messtrecke sind in Abbildung 6-5 gegenübergestellt. Auch diesmal wurde keine funktionale Abhängigkeit der Standardabweichungen von den Messniveaumittelwerten festgestellt, wodurch sie zusammen gefasst werden konnten (siehe Anhang A).

Die durchschnittlichen Niveaumittelwerte der Messungen mit und ohne Spurführungssystem waren diesmal annähernd gleich. Das bedeutet, dass die Messlinien besser übereinstimmten als im Vorjahr. Die Niveaumittelwerte der Messungen mit dem Videosystems sind allerdings höher, was auf eine andere Messspur schließen lässt.

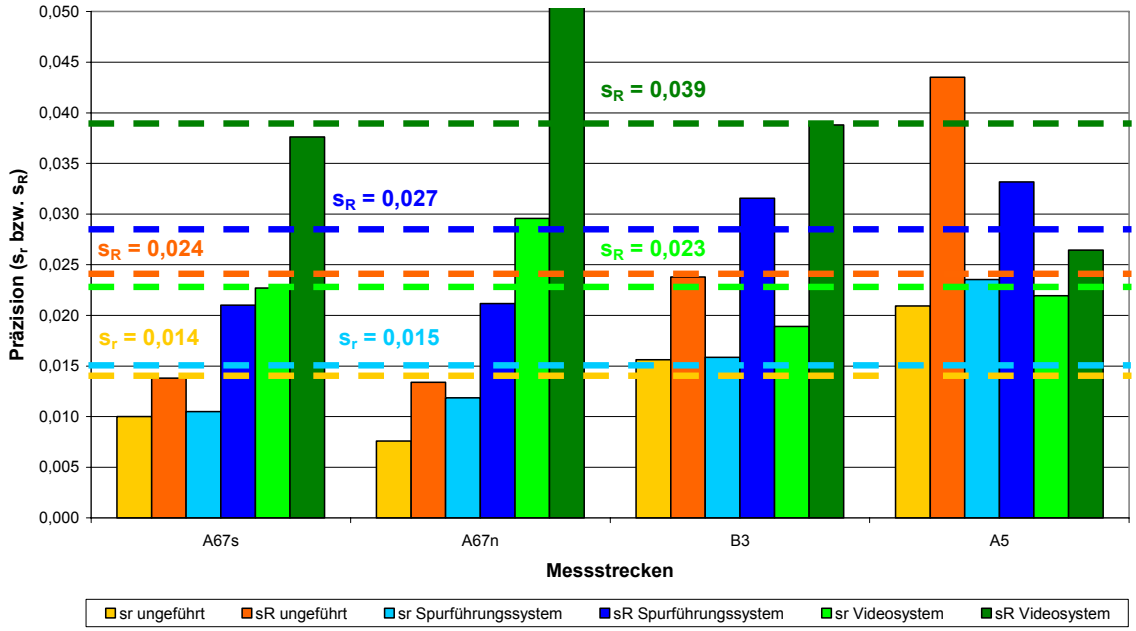


Abbildung 6-5: Wiederhol- und Vergleichstandardabweichungen je Messtrecke, RV 2003

Die Präzisionswerte gemäß Tabelle 6-10 konnten je Gruppe nur mit einer unterschiedlichen Anzahl von GripTestern ermittelt werden. Der österreichische GripTester GT 135 war dabei in jeder der drei Gruppen vertreten.

Tabelle 6-10: Präzision Ringversuch 2003

Ringversuch 2003	Präzision der 50-m-Mittlewerte			
	s_r	r	s_R	R
3 GripTester ohne Spurführungssystem	0,0135	0,038	0,0236	0,066
6 GripTester mit Spurführungssystem	0,0154	0,043	0,0267	0,075
4 GripTester mit Videosystem	0,0233	0,065	0,0390	0,109

Die Ergebnisse zeigen, dass ohne ein orientierungsunterstützendes System eine genau so gute Wiederholgenauigkeit erzielt werden kann, wie mit dem Spurführungssystem. Im Vergleich dazu ist die Wiederholgenauigkeit des Videosystems aber schlechter. Dabei ist anzumerken, dass das Videosystem von einem Fahrer erstmals verwendet wurde, und der andere Fahrer aus Großbritannien sich zusätzlich an den Rechtsverkehr gewöhnen musste. Die Vergleichgenauigkeit der Messungen ohne Nutzung des Spurführungssystems ist großteils besser als bei den Messfahrten mit dem Spurführungssystem. Allerdings muss dazu angemerkt werden, dass mit dem Spurführungssystem sechs statt drei verschiedene GripTester gezogen wurden. Mit dem Videosystem wurden mit vier GripTestern auf fast allen Messstrecken schlechtere Vergleichsgenauigkeiten erreicht.

Die Präzision für die Messungen ohne Spurführungssystem konnte im Vergleich zum Ringversuch 2002 verbessert werden. Mit dem Spurführungssystem wurde zwar eine bessere Wiederholgenauigkeit, aber eine schlechtere Vergleichgenauigkeit als im Vorjahr erzielt (Vergleich Tabelle 6-6 und Tabelle 6-10).

Der Einsatz des Spurführungssystems konnte auch diesmal nicht die gewünschte Verbesserung der Präzision bewirken. Durch die Verwendung des Videosystems verschlechterte sich die Präzision sogar deutlich, womit dieses System vorläufig als unpraktikabel angesehen werden muss.

Nach dem Ringversuch wurden allerdings die Veränderungen der „Vertikalen Nullstellung“ an den GripTestern wieder von allen Teilnehmern zurückgestellt. Man kam zu der Übereinstimmung, dass aufgrund der besseren Nachvollziehbarkeit in Zukunft ein nachträglicher Korrekturfaktor für die Reibungsbeiwerte angewendet werden soll, wenn das Messgerät Abweichungen aufzeigt.

6.3.4 GT Ringversuch Deutschland 2004

Der dritte Ringversuch wurde vom 30. August bis 2. September 2004 durchgeführt und sollte nur mehr die Präzision des GripTesters unter Verwendung eines neuen Spurführungssystems ermitteln. Das von der Schniering Ing.-GmbH entwickelte System hat eine Zeilenkamera, welche an der rechten Fahrzeugseite montiert wird und die Fahrbahnrandmarkierung erfasst. Eine LED-Anzeige dient dem Fahrer als Kontrolle, ob der voreingestellte Abstand eingehalten wird. In Anlehnung an die Prüfvorschrift für Griffigkeitsmessungen mit dem Seitenkraftmessverfahren (SKM) sollen nämlich zukünftig in Deutschland alle Messungen mit einem Spurführungssystem ausgeführt werden.

Tabelle 6-11: Teilnehmer Ringversuch 2004

Teilnehmer/Insitution	Land	GripTester			Anmerkung
		Nr.	Typ	Baujahr	
Bau- und Bodenprüfstelle Darmstadt	Deutschland	GT 082	MK1	1995	
Technische Universität Darmstadt	Deutschland	GT 095	MK1	1996	Ringversuchsleitung
		GT 216	MK1	2000	Von BASt ausgeliehen
Mechatronic GmbH	Deutschland	GT 101	MK1	1996	
Technische Universität Wien	Österreich	GT 135	MK1	1996	
Baustoff- und Boden-prüfstelle Karlsruhe	Deutschland	GT 213	MK1	1999	
Landesgewerbeanstalt Nürnberg	Deutschland	GT 273	MK1	2002	
Findlay Irvine Ltd.	Großbritannien	GT 280	MK2	2003	
		GT 286	MK2	2003	
		GT 355	MK2	2004	

Am Ringversuch nahmen sieben Institutionen und zehn GripTester teil (siehe Tabelle 6-11). Diesmal waren auch mehrere GripTester des neuen Bautyps MK2 vertreten. An allen GripTestern wurde zu Beginn des Ringversuches eine Komplettkalibrierung von Mechatronic durchgeführt. Weiters wurden alle Teilnehmer mit einer neuen Erfassungssoftware von Mechatronic ausgestattet und die GripTester vom Betriebssystem DOS auf Windows umgestellt. Die neue Software ermöglichte zum ersten Mal die Erfassung von 1-m-Reibungsbeiwerten im Zugbetrieb sowie einen Vergleich zweier Messfahrten direkt vor Ort.

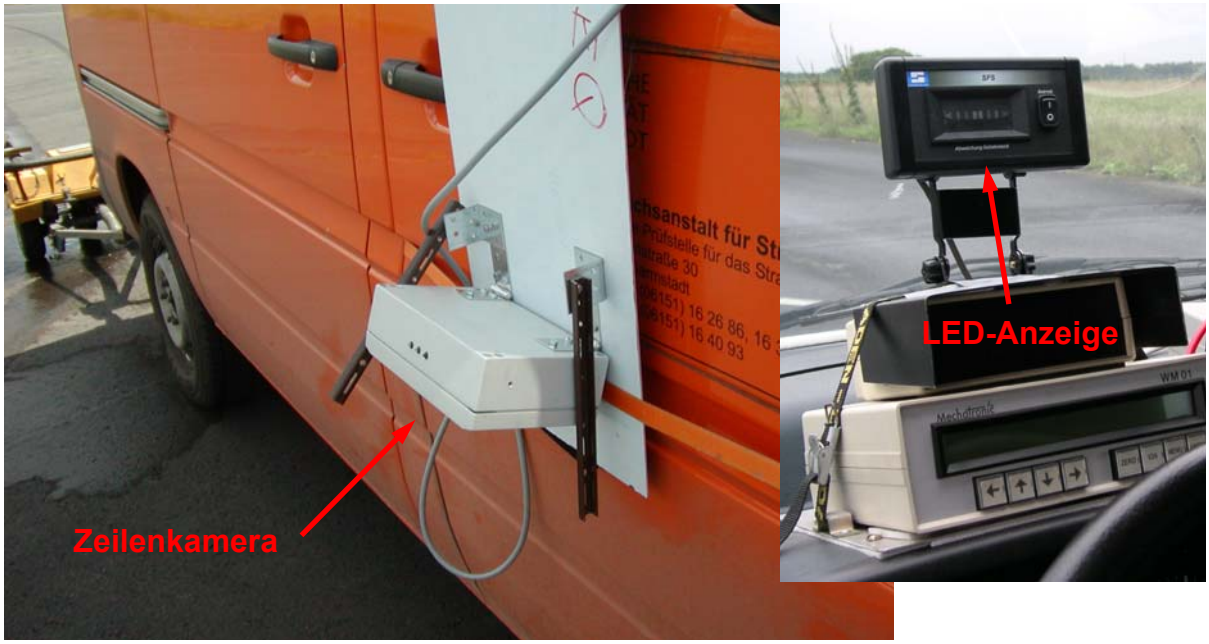


Abbildung 6-6: Neues Spurführungssystem RV 2004

Da nur sechs Zugfahrzeuge und Spurführungssysteme zur Verfügung standen, mussten manche Messteams wieder mehrere GripTester bedienen, dabei wurden die folgenden Zugfahrzeug/GripTester-Kombinationen gemäß Tabelle 6-12 festgelegt.

Tabelle 6-12: Zugfahrzeug/GripTester-Kombinationen, RV 2004

Zugfahrzeug/Messteam	Orientierungssystem	GripTester			
Technische Universität Darmstadt	Spurführungssystem	**GT 095**	GT 101	**GT 216**	-
Bau- und Bodenprüfstelle Darmstadt	Spurführungssystem	**GT 082**	**GT 135**	GT 216	GT 273
Landesgewerbeanstalt Nürnberg	Spurführungssystem	GT 135	**GT 273***	-	-
Findlay Irvine Ltd.	Spurführungssystem	**GT 280**	**GT 286***	GT 355	-
Baustoff- und Bodenprüfstelle Karlsruhe	Spurführungssystem	**GT 101**	GT 135	**GT 213**	GT 216
Mechatronic	Spurführungssystem	GT 280	**GT 355**	-	-

*) Ausreißer

Für den Ringversuch wurden vier Messstrecken, eine mit 2,0 km und drei mit 1,0 km Länge, mit Vorlaufstrecken von je 0,5 km ausgewählt. Zwei befanden sich im

Bundesland Hessen in unmittelbarer Umgebung von Darmstadt und zwei im Bundesland Nordrhein-Westfahlen.

Die Messstrecken A 67s und B 516 waren jene vom Ringversuch 2002 (siehe 6.3.2), allerdings wurde auf der B 516 die Messstreckenlänge um 1 km gekürzt, aber dafür in beiden Fahrtrichtungen befahren. Die Messstrecke A 6 liegt auf einer Richtungsfahrbahn, bestehend aus zwei Fahrstreifen und einem Abstellstreifen. Bei der Deckschicht handelte es sich um Beton.

In Tabelle 6-13 sind die Parameter des Ringversuches zusammengefasst. Auf jeder Messtrecke wurden wieder mit jedem GripTester am Beginn sogenannte „Nullmessungen“ durchgeführt, welche zum Einfahren des Messreifens und als Orientierungsfahrten für die Fahrer dienten, aber nicht für die Datenauswertung herangezogen wurden.

Tabelle 6-13: Parameter Ringversuch 2004

Parameter Ringversuch 2004		**Anmerkung**
Messstrecken	A67s	Autobahn, SMA
	A6	Autobahn, Beton
	B516h	Bundesstraße, AB
	B516r	Bundesstraße, AB
Messstreckenlängen [km]	2,0	A67s, + 0,5 km Vorlaufstrecke
	1,0	A6, B516, + 0,5 km Vorlaufstrecke
Messspurlage von der rechten Randlinie [cm]	70	± 15 cm
Anzahl der Messfahrten je GripTester	6	mit Spurführungssystem
Zeitabstand zwischen den Messungen [min]	3-5	Sichtfahrten zum Vorgänger ausschließen
Messgeschwindigkeit [km/h]	80±4	Autobahn
	60±4	Bundesstraße
Wasserfilmdicke [mm]	0,5	
Einzelwerterfassung [m]	0,4	
Datenaufzeichnungsintervall [m]	1,0	

Aus Zeitgründen war es aber nicht möglich, mit allen geplanten Zugfahrzeug/GripTester-Kombinationen auf allen Strecken Messungen durchzuführen. Aber es wurde zumindest jeder GripTester auf jeder Messtrecke eingesetzt, abgesehen vom GT 286 der nach deutlichen Abweichungen auf der A67 und A6 nicht mehr weiter verwendet wurde. Im Zuge der Auswertung bestätigte sich, dass der GT 286 ein Ausreißer war. Weiters wurde der GT 273 auf allen Messstrecken eindeutig als Ausreißer definiert, womit nur mehr die Messergebnisse von acht GripTestern (darunter war auch der österreichische GT 135) für die Ermittlung der Präzision herangezogen wurden. In Abbildung 6-7 sind die Wiederhol- und Vergleichstandardabweichungen je Messtrecke gegenübergestellt.

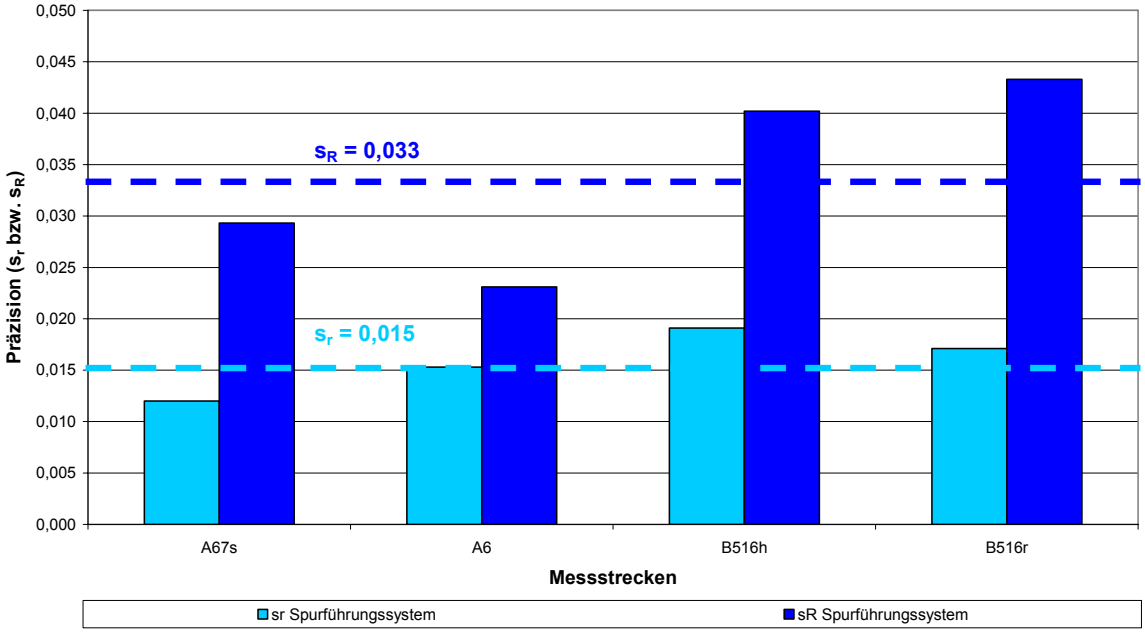


Abbildung 6-7: Wiederhol- und Vergleichstandardabweichungen je Messstrecke, RV 2004

Die Ergebnisse zeigten, dass die Wiederholgenauigkeit bei spurgeführten Messungen im Vergleich zum Ringversuch 2003 annähernd gleich war. Die Vergleichgenauigkeit verschlechterte sich allerdings zum Vorjahr. Dies ist aber nicht auf die Teilnahme der MK2 GripTester zurückzuführen, da die Niveaumittelwerte und Streuungen auf demselben Niveau der MK1 GripTester lagen. Es konnte auch keine funktionale Abhängigkeit der Standardabweichungen von den Messniveau-mittelwerten festgestellt werden, wodurch alle Daten zusammen gefasst wurden (siehe Anhang A). Die Präzisionswerte gemäß Tabelle 6-14 konnten also diesmal anhand von sechs MK1 und zwei MK2 GripTestern ermittelt werden.

Tabelle 6-14: Präzision Ringversuch 2004

Ringversuch 2004	Präzision der 50-m-Mittlewerte			
	s_r	r	s_R	R
8 GripTester mit Spurführungssystem	0,0151	0,042	0,0330	0,092

6.3.5 GT Ringversuch Großbritannien 2004

Am 21. April 2004 wurde von Findlay Irvine ein GripTester Ringversuch auf dem Testgelände des Transport Research Laboratory (TRL) durchgeführt [118]. Ziel des Versuches war, die verbesserte Präzision des neuen GripTester Modells MK2 nachzuweisen. Der Versuch fand parallel zum jährlichen SCRIM Ringversuch statt, welcher von der TRL für die Highways Agency veranstaltet wurde.

Am Ringversuch nahmen drei Institutionen und sieben GripTester MK2 teil (siehe Tabelle 6-15). Die Messteams und Zugfahrzeuge wurden in fünf Gruppen eingeteilt, wovon zwei mit zwei GripTestern Messungen ausführen sollten.

Tabelle 6-15: Teilnehmer Ringversuch 2004

Teilnehmer/Insitution	Land	GripTester		Anmerkung
		Anzahl	Typ	
Findlay Irvine Ltd.	Großbritannien	5	MK2	3 Zugfahrzeuge, Ringversuchsleitung
Transport Research Laboratory	Großbritannien	1	MK2	
Gwynedd Council	Großbritannien	1	MK2	

Auf dem TRL Testgelände standen für den Ringversuch zwei Rundkurse mit insgesamt neun Messstrecken zur Verfügung von denen acht genutzt wurden. Die Strecken wiesen verschiedene Griffigkeitsniveaus auf und waren zwischen 80 m und 180 m lang. In Tabelle 6-16 sind die Parameter des Ringversuches aufgelistet.

Tabelle 6-16: Parameter Ringversuch 2004

Parameter Ringversuch 2004		Anmerkung
Messstreckenanzahl	8	verschiedene Griffigkeitsniveaus, teilweise direkt hintereinander angeordnet
Messstreckenlängen [m]	80-180	
Anzahl der Messfahrten je GripTester	5	
Messgeschwindigkeit [km/h]	50	
Wasserfilmdicke [mm]	0,25	11 l/min

Für zwei GripTester war es nicht möglich, auf allen acht Abschnitten fünf Messungen durchzuführen, da die Verfügbarkeit der Teststrecke aufgrund der SCRIM Messungen nicht immer gewährleistet war. Für die Ermittlung der Präzision wurden die Messstreckenmittelwerte herangezogen. Dabei stellte sich heraus, dass die Messergebnisse der ersten Messungen auf allen Messstrecken höher waren, weshalb diese Daten für die Auswertung ausgeschieden wurden. Weiters wurden ebenfalls die Daten einer Messtrecke ausgeschieden, da hier im Vergleich zu den anderen Strecken die Messwerte sehr stark streuten. Dies erfolgt in Rücksprache mit TRL, da dieses Phänomen auch für die SCRIM Messungen zutraf und vermutlich auf die Inhomogenität der Messstrecke zurückzuführen war. In Tabelle 6-17 sind die Gesamtwerte für die Wiederhol- und Vergleichgrenze für die sieben GripTester und sieben Messstrecken angegeben.

Tabelle 6-17: Präzision Ringversuch 2004

Ringversuch 2004	Präzision	
	r	R
7 GripTester MK2	0,03	0,07

Im Vergleich zu den deutschen Ringversuchen scheint es, als ob die Präzision des GripTester MK2 auch ohne Verwendung eines Spurführungssystems besser ist.

Dazu muss aber angemerkt werden, dass hier nur sehr wenige Messabschnitte vorhanden waren und längere Auswerteintervalle von 80 m bis 180 m statt nur 50 m angewendet wurden. Weiters mussten die Messungen nicht im fließenden Verkehr ausgeführt werden.

6.4 Messgenauigkeit aus Wiederholungsmessungen auf dem österreichischen Straßennetz (2005-2007)

6.4.1 Allgemeines

Obwohl die Messgenauigkeit für den GripTester bereits in mehreren Ringversuchen ermittelt wurde (siehe Kapitel 6.3), wurden zusätzlich Wiederholungsmessungen auf dem österreichischen Straßennetz durchgeführt. Folgende Gründe waren dafür ausschlaggebend:

- Generell wenig Strecken (nur 4 bis 12) bei den Ringversuchen
- Streckenlängen in Großbritannien nur sehr kurz
- Laborcharakter aufgrund eines abgesperrten Testareals in Großbritannien
- Keine Strecken auf dem untergeordneten Netz (Landesstraßen)
- Keine freie Orientierung des Fahrers im Straßenraum sondern vorgegebene Messspuren
- Nur eine Messgeschwindigkeit je Messstrecke
- Kaum Messungen mit 60 km/h (Standardgeschwindigkeit RoadSTAR)
- Andere Wasserfilmdicken bei den Ringversuchen in Großbritannien
- Bestätigung der Wiederholgenauigkeit des GT 135 durch aktuelle Daten und Vergleichsmöglichkeit mit dem RoadSTAR

Weiters konnte anhand der Ringversuchsdaten nicht nachgewiesen werden, ob die Wiederholgenauigkeit von der Messgeschwindigkeit abhängig ist oder nicht. Zusätzlich lag die Vermutung nahe, dass die Wiederholgenauigkeit wesentlich von der Länge des Auswerteintervalls abhängig ist, dazu wurden ebenfalls noch keine Untersuchungen durchgeführt. Gemäß [119] stellt ein Auswerteintervall von 50 m für eine netzweite Betrachtung für einen Vergleich von zwei (RoadSTAR) Messungen das günstigste Intervall dar. Diese Länge wurde schließlich auch in den RVS 11.06.71 [7] und 11.06.65 [5] einheitlich festgelegt. Für Detailuntersuchungen kurzer Abschnitte (Unfallstellen, Kreuzungsbereiche) sollte aber ein möglichst kurzes Auswerteintervall gewählt werden. Da in den RVS 11.06.71 und 11.06.65 ein minimales Aufzeichnungsintervall von 5 m festgelegt wurde, war dieses für einen Vergleich interessant.

6.4.2 Messprogramm

Ziel des Messprogramms war die Wiederholgenauigkeit des GripTesters für die Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h unter Einhaltung der möglichst

gleichen Messspur sowie für ein Auswerteintervall von 50 m und 5 m zu ermitteln und mit der Messgenauigkeit des RoadSTAR zu vergleichen.

Die Messstrecken wurden so gewählt, dass ein möglichst repräsentativer Ausschnitt der in Österreich verwendeten Deckschichttypen auf dem Autobahn-, Schnellstraßen- und Landesstraßennetz vertreten war. Generell betrugen die Streckenlängen 2 km, zwölf Messstrecken waren aber wesentlich kürzer. Eine Übersicht aller Messstrecken ist in Tabelle 1-1 zusammengestellt. Insgesamt wurden im Zeitraum Juli 2005 bis Juli 2007 Wiederholungsmessungen auf 44 Messstrecken mit 60 km/h und auf 23 Messstrecken mit 40 km/h durchgeführt, wobei manche Strecken im Rahmen der Qualitätssicherung öfter gemessen wurden (Nr. 8, 10, 42 und 43). Das Messprogramm enthielt folgende Deckschichttypen:

- 3x lärmmindernder Splittmastixasphalt (LSMA)
- 3x Drainasphalt (DA)
- 7x Splittmastixasphalt (SMA)
- 12x Asphaltbeton (AB)
- 8x bituminöse Tragdeckschicht (BTD)
- 4x bituminöse Oberflächenbehandlung (OBH)
- 2x Dünnschichtdecke (DD)
- 2x Beton
- 3x Waschbeton (1x alt, 2x neu)

Generell wurde auf jeder Messstrecke eine 1. Messung mit 60 km/h zur Vorreinigung vorgenommen, um gleiche Verhältnisse für alle nachfolgenden Messungen zu schaffen. Danach wurden zwei Messungen (2. und 3. Messung) mit der Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h ausgeführt. Anschließend daran wurden auf ausgewählten Strecken auch zwei Messungen (4. und 5. Messung) mit 40 km/h durchgeführt.

6.4.3 Wiederholgenauigkeit für 50-m-Mittelwerte

Gemäß Kapitel 6.2.3 kann für ein einzelnes Messgerät nur die Wiederholstandardabweichung s_w bestimmt werden. Diese stellt das Minimum der Ergebnisstreuung dar. Die Auswertung erfolgte ebenfalls nach dem Verfahren der DIN ISO 5725-2 [107], wobei alle Messstrecken in 50-m-Abschnitt unterteilt und als je ein Messniveau definiert wurden.

Für die Messgeschwindigkeit 60 km/h wurden die Wiederholstandardabweichungen $s_{w,123}$ für jedes Messniveau aus allen drei Messungen berechnet. Um die Auswirkung der 1. Messung auf die Wiederholpräzision besser darstellen zu können, wurden auch die Wiederholstandardabweichungen der 1. und 2. Messung ($s_{w,12}$) und der 2. und 3. Messung ($s_{w,23}$) je Messniveau ermittelt. Für die Messgeschwindigkeit 40 km/h wurden die Wiederholstandardabweichungen ($s_{w,45}$) auf Basis der 50-m-Mittelwerte der 4. und 5. Messung berechnet. Da keine funktionale Abhängigkeit der Standardabweichungen und Messniveaumittelwerte gemäß Kapitel 6.2.11 für beide Messgeschwindigkeiten festgestellt werden konnte (siehe Abbildung 6-8), konnten in

Tabelle 6-18 die Wiederholstandardabweichungen getrennt für jede Messstrecke und Messgeschwindigkeit zusammengefasst werden.

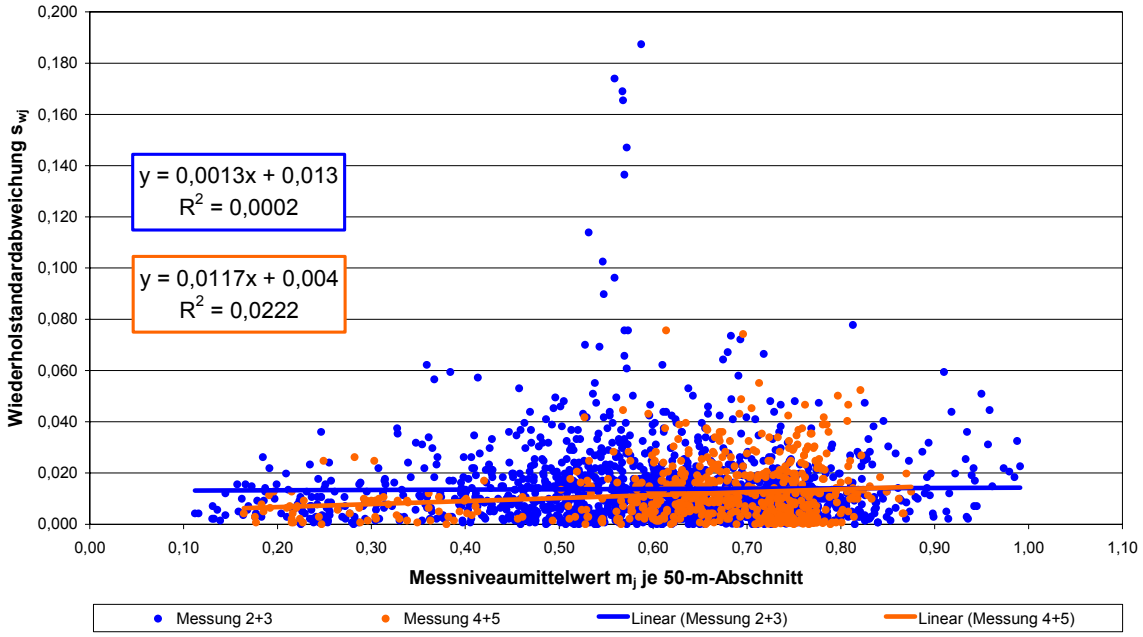


Abbildung 6-8: Funktionale Abhängigkeit der Wiederholstandardabweichungen vom Messniveaumittelwert (50-m-Abschnitte)

Bei Betrachtung aller Messstrecken zeigte sich, dass sich die Wiederholstandardabweichung verbesserte, wenn man die 1. Messung nicht in der Auswertung mit berücksichtigte. Das bedeutete, dass die gemessenen Reibungsbeiwerte der 2. und 3. Messung besser übereinstimmten (geringere Streuung) als jene der 1. und 2. Messung. Ausgenommen davon waren die Ergebnisse auf den Messstrecken Nr. 18, Nr.19 und Nr. 21 wo sich diese Aussage umkehrte.

Allerdings zeigten die Daten der Messstrecken Nr. 18 und Nr. 19 auch, dass die Wiederholstandardabweichungen höher waren als auf den anderen Messstrecken, was an den sehr starken Spurrinnen lag. Das galt auch für die Messstrecken Nr. 36 wegen einer schlechten Längsebenheit und Nr. 38. wegen einer sehr inhomogenen Fahrbahnoberfläche aufgrund zahlreicher Rissverfüllungen.

Tabelle 6-18: Wiederholstandardabweichungen der 50-m-Mittelwerte je Messtrecke für 60 km/h und 40 km/h

Nr.	Deckschicht-gruppe	GripTester 60 km/h			GripTester 40 km/h	Anmerkung
		$s_{w,123}$	$s_{w,12}$	$s_{w,23}$	$s_{w,45}$	
1	LSMA	0,015	0,017	0,004	0,003	0,5 km
2		0,016	0,018	0,004	0,002	0,5 km
3		0,013	0,017	0,003	0,002	0,5 km
4	DA	0,008	0,007	0,005	0,002	0,5 km
5		0,007	0,010	0,005	0,003	0,6 km
6		0,018	0,022	0,004	0,002	0,4 km
7	SMA	0,031	0,031	0,021	-	
8a		0,025	0,022	0,015	-	
8b		-	0,031	-	-	nur 2 Messungen
9		0,010	0,010	0,005	0,002	0,5 km
10a		0,036	0,042	0,010	-	
10b		0,023	0,022	0,014	-	
10c		0,036	0,036	0,016	-	
11		0,018	0,020	0,010	0,022	
12		0,022	0,024	0,007	-	1,2 km
13		0,022	0,019	0,016	0,016	
14	AB	0,013	0,015	0,004	0,002	0,5 km
15		-	-	0,013	0,008	1,2 km, 1. Messung abgebrochen
16		-	-	0,011	0,008	1,2 km, 1. Messung nicht gespeichert
17		0,016	0,015	0,013	-	
18		0,045	0,024	0,046	-	Spurrinnen
19		0,034	0,024	0,031	-	Spurrinnen
20		0,019	0,021	0,009	0,010	
21		0,018	0,015	0,019	0,009	
22		0,073	0,087	0,017	-	
23		0,059	0,071	0,016	0,012	
24		0,057	0,065	0,015	0,013	
25		0,034	0,040	0,012	0,019	
26	BTD	0,009	0,007	0,008	-	
27		0,019	0,016	0,012	0,019	
28		0,016	0,016	0,010	0,009	
29		0,023	0,019	0,012	0,012	
30		0,053	0,063	0,009	0,011	
31		0,025	0,026	0,016	-	
32		0,013	0,014	0,010	-	
33		0,021	0,025	0,008	-	
34	OBH	0,025	0,031	0,008	0,006	1,2 km
35		0,017	0,019	0,011	0,018	
36		0,025	0,024	0,020	-	schlechte Längsebenheit
37		0,024	0,018	0,016	-	
38	DD	0,056	0,054	0,028	-	viele verfüllte Risse
39		0,015	0,015	0,012	-	
40	Beton	0,035	0,042	0,014	-	
41		-	0,019	-	-	nur 2 Messungen
42a	Waschbeton	0,018	0,018	0,015	-	
42b		0,013	0,015	0,010	-	
42c		-	0,019	-	-	nur 2 Messungen
43a		0,018	0,018	0,007	-	
43b		0,017	0,015	0,008	-	
43c		0,035	0,033	0,015	-	
44		0,018	0,013	0,014	-	

In Abbildung 6-9 und Abbildung 6-10 wurden die Wiederholstandardabweichungen graphisch für die Straßenkategorien Autobahn- und Schnellstraßen sowie Landesstraßen B und L zusammengestellt sowie deren Mittelwerte für die 2. und 3. Messung bei 60 km/h ($s_{w,23}$) und die 4. und 5. Messung bei 40 km/h ($s_{w,45}$) eingetragen.

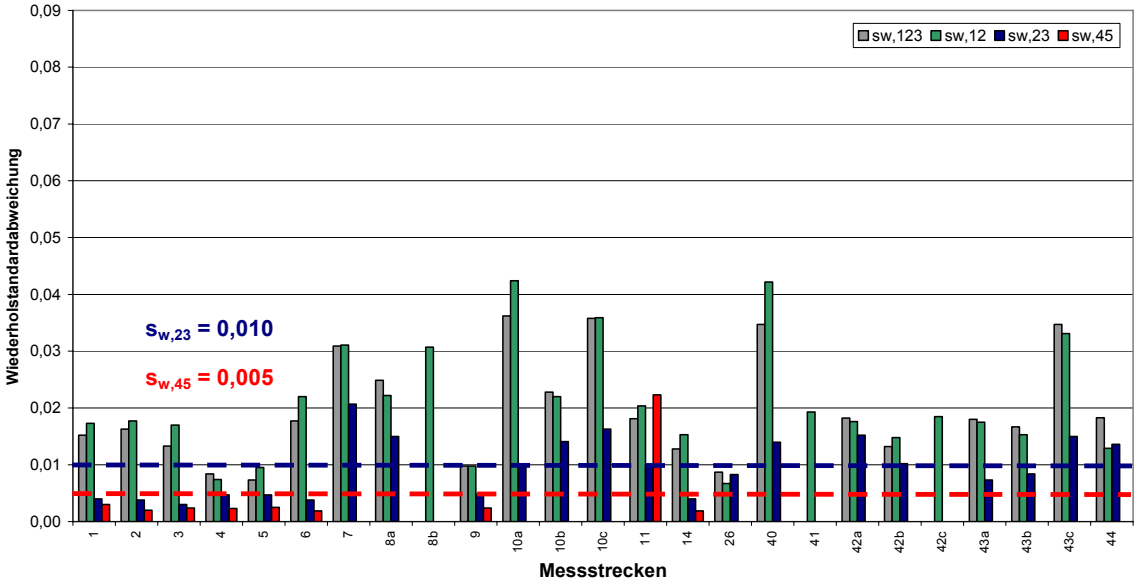


Abbildung 6-9: Wiederholstandardabweichungen der 50-m-Mittelwerte auf A und S Straßen

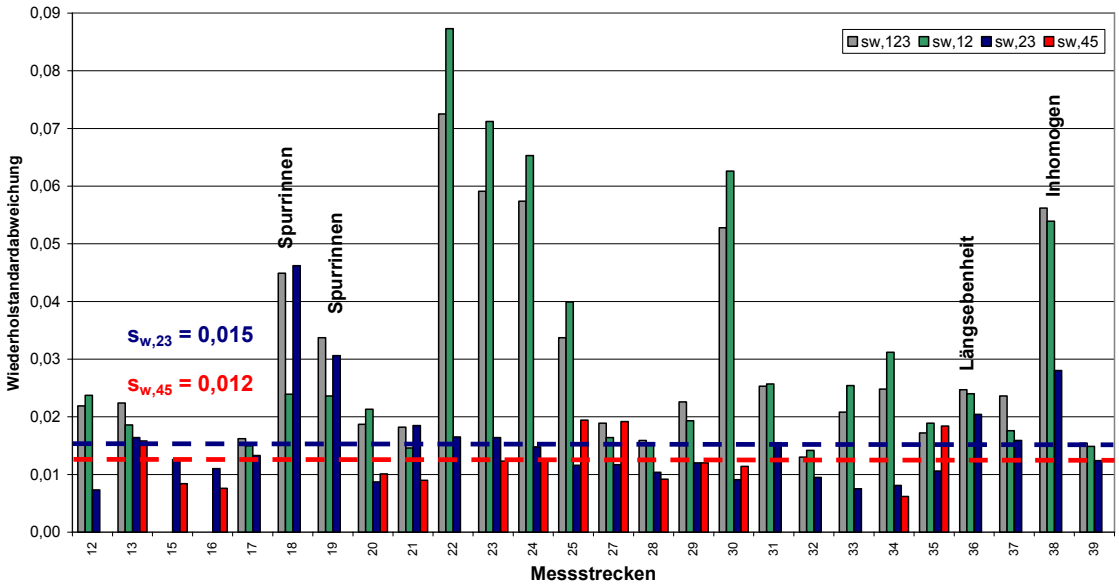


Abbildung 6-10: Wiederholstandardabweichungen der 50-m-Mittelwerte auf B und L Straßen

Betrachtet man nur die Ergebnisse der Wiederholstandardabweichung $s_{w,23}$ (blau) und $s_{w,45}$ (rot) der Abbildung 6-9 und Abbildung 6-10, könnte man daraus schließen, dass auf den A+S Straßen eine bessere Messgenauigkeit erzielt werden kann als auf den Landesstraßen. Grund dafür sind die sehr guten Ergebnisse auf den Messstrecken Nr. 1 bis Nr. 6 sowie Nr. 9 und Nr. 14, da dort eine sehr gute Homogenität der erst ein Jahr alten Deckschichten vorhanden war. Generell kann

auch die Messspur auf Autobahnen und Schnellstraßen leichter eingehalten werden, da diese in der Regel kaum Krümmungswechsel ausweisen. Die Messgenauigkeit auf den Landesstraßen leidet vor allem an den Strecken Nr. 18, Nr.19, Nr. 36 und Nr. 38, ist aber auf den anderen Strecken annähernd auf demselben Niveau.

In Tabelle 6-19 wurden die Wiederholstandardabweichungen getrennt für alle drei Messungen, die 1. und 2. Messung, die 2. und 3. Messung und 4. und 5. Messung für alle 50-m-Abschnitte gemittelt und daraus die Wiederholgrenzen r gemäß Kapitel 6.2.12 angegeben. Für den direkten Vergleich wurden nur jene Abschnitte herangezogen, auf denen gleich viele Messwerte vorlagen. Weiters wurde die Wiederholpräzision auch ohne den Daten der Messstrecken Nr. 18, Nr.19, Nr. 36 und Nr. 38 angegeben.

Tabelle 6-19: Wiederholpräzision der 50-m-Mittelwerte

Wiederholpräzision GT135	Anzahl 50-m-Abschnitte	60 km/h						40 km/h	
		$s_{w,123}$	r_{123}	$s_{w,12}$	r_{12}	$s_{w,23}$	r_{23}	$s_{w,45}$	r_{45}
43 Strecken	1569	0,0266	**0,074**	0,0271	**0,075**	0,0138	**0,038**	-	-
39 Strecken (ohne Nr.: 18, 19, 36, 38)	1433	0,0255	**0,071**	0,0270	**0,075**	0,0120	**0,033**	-	-
23 Strecken	622	0,0266	**0,074**	0,0290	**0,080**	0,0111	**0,031**	0,0120	**0,033**

Wie deutlich zu sehen ist, wird eine viel bessere Präzision erreicht, wenn die Daten der 1. Messung ausgeschieden werden, und nur die 2. und 3. Messung bzw. 4. und 5. zur Beurteilung der Griffigkeit herangezogen werden. Vergleicht man die Wiederholstandardabweichungen für die Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h ($s_{w,23}$ - $s_{w,45}$), sieht man, dass sich diese nicht signifikant voneinander unterscheiden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Messgenauigkeit des GripTesters von der Messgeschwindigkeit in diesem Bereich unabhängig ist.

6.4.4 Wiederholgenauigkeit für 5-m-Mittelwerte

Zur Bestimmung der Wiederholstandardabweichung s_w für 5-m-Mittelwerte wurde nach dem selben Verfahren wie in Kapitel 6.4.3 vorgegangen, mit dem Unterschied, dass alle Messstrecken nun in 5-m-Abschnitte unterteilt und als je ein Messniveau definiert wurden. Wiederum wurden der Messniveaumittelwert und die zugehörige Wiederholstandardabweichung $s_{w,123}$ für jedes Messniveau aus allen drei Messungen berechnet. Danach wurden auch die Messniveaumittelwerte und Wiederholstandardabweichungen der 1. und 2. Messung ($s_{w,12}$), der 2. und 3. Messung ($s_{w,23}$) und der 4. und 5. Messung ($s_{w,45}$) je Messniveau ermittelt.

Auch für die 5-m-Mittelwerte konnte keine funktionale Abhängigkeit der Wiederholstandardabweichungen von den Messniveaumittelwerten festgestellt werden. Daher konnten auch hier die Wiederholstandardabweichungen der 5-m-Abschnitte getrennt für jede Messstrecke und Messgeschwindigkeit (60 und 40 km/h) zusammengefasst werden (siehe Tabelle 6-20).

Tabelle 6-20: Wiederholstandardabweichungen der 5-m-Mittelwerte je Messtrecke für 60 km/h und 40 km/h

Nr.	Deckschicht-gruppe	GripTester 60 km/h			GripTester 40 km/h	Anmerkung
		$s_{w,123}$	$s_{w,12}$	$s_{w,23}$	$s_{w,45}$	
1	LSMA	0,018	0,020	0,009	0,005	0,5 km
2		0,018	0,019	0,007	0,006	0,5 km
3		0,015	0,018	0,006	0,005	0,5 km
4	DA	0,011	0,010	0,008	0,005	0,5 km
5		0,011	0,012	0,008	0,006	0,6 km
6		0,020	0,023	0,008	0,005	0,4 km
7	SMA	0,038	0,039	0,026	-	
8a		0,031	0,029	0,021	-	
8b		-	0,040	-	-	nur 2 Messungen
9		0,012	0,011	0,008	0,006	0,5 km
10a		0,047	0,053	0,017	-	
10b		0,032	0,033	0,018	-	
10c		0,040	0,038	0,019	-	
11		0,022	0,022	0,015	0,023	
12		0,023	0,024	0,011	-	1,2 km
13		0,028	0,024	0,022	0,019	
14	AB	0,022	0,022	0,014	0,005	0,5 km
15		-	-	0,015	0,012	1,2 km, 1. Messung abgebrochen
16		-	-	0,014	0,011	1,2 km, 1. Messung nicht gespeichert
17		0,036	0,037	0,020	-	
18		0,050	0,030	0,050	-	Spurrinnen
19		0,039	0,031	0,034	-	Spurrinnen
20		0,021	0,023	0,013	0,015	
21		0,026	0,021	0,023	0,013	
22		0,083	0,097	0,024	-	
23		0,071	0,084	0,024	0,018	
24		0,069	0,076	0,024	0,017	
25		0,041	0,046	0,019	0,022	
26	BTD	0,016	0,013	0,015	-	
27		0,025	0,022	0,017	0,023	
28		0,020	0,019	0,014	0,013	
29		0,026	0,022	0,016	0,017	
30		0,062	0,072	0,016	0,017	
31		0,035	0,031	0,026	-	
32		0,025	0,023	0,019	-	
33		0,026	0,028	0,015	-	
34	OBH	0,030	0,035	0,012		1,2 km
35		0,028	0,029	0,019	0,024	
36		0,045	0,043	0,035	-	schlechte Längsebenheit
37		0,031	0,025	0,023	-	
38	DD	0,074	0,075	0,043	-	viele verfüllte Risse
39		0,030	0,029	0,023	-	
40	Beton	0,042	0,048	0,021	-	
41		-	0,025	-	-	nur 2 Messungen
42a	Waschbeton	0,032	0,028	0,023	-	
42b		0,023	0,021	0,022	-	
42c		-	0,034	-	-	nur 2 Messungen
43a		0,022	0,022	0,010	-	
43b		0,021	0,019	0,011	-	
43c		0,037	0,035	0,017	-	
44		0,023	0,019	0,016	-	

Eine Betrachtung über alle Messstrecken zeigt auch bei einem kürzeren Auswerteintervall (5-m-Abschnitte) wieder, dass sich die Wiederholstandard-abweichungen verbessern, wenn man die 1. Messung nicht in der Auswertung mit berücksichtigt. Ausgenommen davon sind wieder die Ergebnisse auf den drei Messstrecken Nr. 18, Nr. 19 und Nr. 21.

In Tabelle 6-21 wurden nun wieder die Wiederholstandardabweichungen getrennt für alle drei Messungen, die 1. und 2. Messung, die 2. und 3. Messung und 4. und 5. Messung für alle 5-m-Abschnitte gemittelt und daraus die Wiederholgrenzen r gemäß 6.2.12 angegeben. Zum besseren Vergleich wurden nur jene Abschnitte herangezogen, auf denen gleich viele Messwerte vorlagen und einmal auch die Daten der Messstrecken Nr. 18, Nr.19, Nr. 36 und Nr. 38 ausgeschieden.

Tabelle 6-21: Wiederholpräzision der 5-m-Mittelwerte

Wiederholpräzision GT135	Anzahl 5-m-Abschnitte	60 km/h						40 km/h	
		$s_{w,123}$	r_{123}	$s_{w,12}$	r_{12}	$s_{w,23}$	r_{23}	$s_{w,45}$	r_{45}
43 Strecken	15678	0,0344	**0,095**	0,0342	**0,095**	0,0199	**0,055**	-	-
39 Strecken (ohne Nr.: 18, 19, 36, 38)	14321	0,0330	**0,091**	0,0336	**0,093**	0,0180	**0,050**	-	-
23 Strecken	6220	0,0328	**0,091**	0,0346	**0,096**	0,0166	**0,046**	0,0159	**0,044**

Bei Betrachtung der 5-m-Mittelwerte verschlechtert sich die Präzision deutlich (Vergleich Tabelle 6-19 mit Tabelle 6-21). Wiederum gilt aber, dass sich die Präzision verbessert, wenn die Daten der 1. Messung ausgeschieden werden, und nur die 2. und 3. Messung bzw. 4. und 5. zur Beurteilung der Griffigkeit herangezogen werden. Vergleicht man die Wiederholstandardabweichungen für die Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h ($s_{w,23}$ - $s_{w,45}$), sieht man wieder, dass diese auch für 5-m-Mittelwerte annähernd gleich sind.

6.4.5 Messgenauigkeit RoadSTAR-Verfahren

Die Messgenauigkeit für das bereits in Österreich etablierte Griffigkeitsmesssystem RoadSTAR wurde im März/April 2002 durch Wiederholungsmessungen auf 15 verschiedenen Strecken auf dem österreichischen Straßennetz ermittelt. Die Messstrecken wurden so gewählt, dass sie hinsichtlich der Fahrbahnoberflächen (Griffigkeit, Textur) und der verwendeten Gesteine variierten, aber im gewählten Abschnitt möglichst homogen waren. Das Messprogramm enthielt die folgenden Deckschichttypen [52]:

- 2x Drainasphalt (DA)
- 3x Splittmastixasphalt (SMA)
- 4x Asphaltbeton (AB)
- 2x Dünnschichtdecke (DD)
- 2x Beton
- 2x Waschbeton

Jede Messtrecke war 2 km lang und es wurden unter standardisierten Bedingungen und unmittelbar hintereinander drei Messungen bei Einhaltung der gleichen Messspur durchgeführt. Durch die Anfeuchtung der Fahrbahnoberfläche während der Griffigkeitsmessungen trat bei manchen Belägen ein Reinigungseffekt ein. Aus diesem Grund wurden für den Vergleich der Messwerte nur die Daten der zweiten und dritten Messungen herangezogen [52]. Die Abweichungen der Ergebnisse der ersten Messungen zu den nachfolgenden wurden damals nicht weiters quantifiziert, da keine signifikanten Abweichungen ersichtlich waren.

Bei der Auswertung wurden getrennt für jede Messtrecke die auf 50 m gemittelten Messwerte der zweiten und dritten Messung einander gegenübergestellt. Daraus wurde der Betrag der Differenz der Mittelwerte (ΔMW) der Fahrten zwei und drei berechnet und die doppelte Standardabweichung der Differenzen (2σ) der 50-m-Einzelwerte der beiden Messfahrten angegeben. Als Basis für die Messgenauigkeit wurden gemäß Tabelle 6-22 die Maximalwerte (rot) je Kriterium ausgeschieden und die zweithöchsten Werte (grün) herangezogen.

Tabelle 6-22: Ergebnisse der Wiederholungsmessungen RoadSTAR (modifiziert aus [52])

Deckschichttyp	RoadSTAR 60 km/h	
	ΔMW	2σ
Beton alt	0,025	0,042
Beton Besenstrich	0,004	**0,056**
Waschbeton	0,026	0,028
Waschbeton	0,006	0,030
SMA sehr fein	0,007	0,038
AB mittel	0,023	0,024
AB grob	0,006	0,032
AB sehr griffig	**0,030**	0,044
AB gering griffig	**0,033**	0,022
DD-K	0,009	0,044
DD-H	0,005	**0,046**
SMA, mittel	0,026	0,022
SMA grob	0,011	0,022
DA	0,012	0,044
DA	0,017	0,020

ΔMW: Betrag der Differenz der Mittelwerte der 2. und 3. Messung

2σ: Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Einzelwerte der 2. und 3. Messung

In der RVS 11.06.65 [5] und ÖNORM B 3591 [79] wurden die Messgenauigkeitsanforderungen gemäß Tabelle 6-23 festgelegt. Wie zu sehen ist, wurden somit auf den 15 Messstrecken diese Grenzwerte je einmal überschritten.

Tabelle 6-23: Messgenauigkeit RoadSTAR [5] [52] [79]

Kriterium RoadSTAR	Grenzwert
Betrag der Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$\Delta MW \leq 0{,}03$
Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$2\sigma \leq 0{,}05$

Um eine Vergleichsmöglichkeit der Messgenauigkeiten von GripTester und RoadSTAR zu erhalten, wurden die auf dem österreichischen Strecken durchgeführten Wiederholungsmessungen (siehe Kapitel 6.4.2) nach dem Verfahren von arsenal research für den RoadSTAR gemäß RVS 11.06.65 [5] bzw. [52] ausgewertet. Dazu wurden allerdings nur die Daten der 43 Messstrecken herangezogen, auf denen ebenfalls drei Messungen mit dem GripTester mit 60 km/h durchgeführt wurden (Nr. 41 nur 2 Messungen). Weiters wurden zum Vergleich auch die GripTester-Messungen mit 40 km/h ausgewertet und in Tabelle 6-25 zusammengestellt.

Für die Definition der Messgenauigkeit wurden die Messstrecken Nr. 18, Nr. 19 aufgrund starker Spurrinnen und Nr. 36 wegen schlechter Längsebenheit sowie Nr. 38 wegen einer sehr inhomogenen Fahrbahnoberfläche nicht berücksichtigt. In Tabelle 6-25 wurden dann konform zum RoadSTAR-Auswerteverfahren ebenfalls die Maximalwerte (rot) je Kriterium ausgeschieden und die zweithöchsten Werte (grün) als Grenzwerte für die Messgenauigkeit herangezogen. Da keine Unterschiede zwischen den Ergebnissen mit 60 km/h und 40 km/h festgestellt werden konnten, wurden diese zusammengefasst und folgende Messgenauigkeit in der RVS 11.06.71 [7] festgelegt.

Tabelle 6-24: Messgenauigkeit GripTester [7]

Kriterium GripTester	Grenzwert
Betrag der Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$\Delta MW \leq 0{,}03$
Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$2\sigma \leq 0{,}06$

Obwohl mit dem GripTester auf einem Großteil der Strecken auch die Grenzwerte für die Wiederholgenauigkeit des RoadSTAR eingehalten werden konnten, wurde die zulässige doppelte Standardabweichung aber von $2\sigma \leq 0{,}05$ auf $2\sigma \leq 0{,}06$ erhöht. Es wäre aber durchaus möglich, die zulässige Differenz auf $\Delta MW \leq 0{,}02$ zu reduzieren. Aber vorerst sollen für den GripTester keine geringern Toleranzen für die Messgenauigkeit festgelegt werden als für den RoadSTAR.

Tabelle 6-25: Ergebnisse der Wiederholungsmessungen GripTester

Nr.	Deckschicht-gruppe	GripTester 60 km/h		GripTester 40 km/h		Anmerkung
		$\Delta MW_{2,3}$	$2\sigma_{2,3}$	$\Delta MW_{4,5}$	$2\sigma_{4,5}$	
1	LSMA	0,002	0,014	0,003	0,009	0,5 km
2		0,005	0,011	0,000	0,007	0,5 km
3		0,003	0,009	0,002	0,008	0,5 km
4	DA	0,004	0,014	0,001	0,010	0,5 km
5		0,005	0,016	0,002	0,007	0,6 km
6		0,002	0,011	0,001	0,007	0,4 km
7	SMA	0,001	**0,080**	-	-	
8a		0,014	0,052	-	-	
9		0,004	0,015	0,000	0,008	0,5 km
10a		0,003	0,042	-	-	
10b		0,014	0,041	-	-	
10c		0,014	0,040	-	-	
11		0,003	0,038	**0,031**	0,032	
12		0,005	0,025	-	-	1,2 km
13		0,016	0,048	0,008	0,050	
14	AB	0,002	0,015	0,000	0,007	0,5 km
15		0,018	0,018	0,002	0,028	1,2 km
16		0,011	0,038	0,009	0,024	1,2 km
17		0,012	0,044	-	-	
18		*0,061*	*0,162*	-	-	Spurrinnen
19		*0,035*	*0,088*	-	-	Spurrinnen
20		0,001	0,030	0,000	0,038	
21		**0,023**	0,042	0,004	0,032	
22		0,003	0,060	-	-	
23		0,015	**0,062**	0,002	0,052	
24		0,002	0,052	0,011	0,044	
25		0,006	0,044	**0,026**	0,038	
26	BTD	0,002	0,032	-	-	
27		0,013	0,032	0,008	**0,072**	
28		0,008	0,038	0,006	0,034	
29		0,016	0,022	0,016	0,028	
30		0,000	0,034	0,005	0,040	
31		0,002	0,058	-	-	
32		0,004	0,034	-	-	
33		0,003	0,032	-	-	
34	OBH	0,010	0,021	0,005	0,022	1,2 km
35		0,010	0,032	0,013	**0,058**	
36		*0,008*	*0,074*	-	-	schlechte Längsebenheit
37		**0,020**	0,038	-	-	
38	DD	*0,051*	*0,056*	-	-	viele verfüllte Risse
39		0,003	0,046	-	-	
40	Beton	0,004	0,056	-	-	
42a	Waschbeton	0,011	0,048	-	-	
42b		0,005	0,036	-	-	
43a		0,009	0,018	-	-	
43b		0,011	0,017	-	-	
43c		0,020	0,021	-	-	
44		0,018	0,022	-	-	

ΔMW: Betrag der Differenz der Mittelwerte der 2. und 3. Messung

2σ: Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Einzelwerte der 2. und 3. Messung

6.4.6 Abweichung der Ersten Messung

Da schon bei den GripTester-Ringversuchen jeweils die Daten der ersten Messungen bei den Auswertungen ausgeschieden wurden und auch für die Ermittlung der Messgenauigkeit des RoadSTAR diese Daten nicht berücksichtigt wurden, sollte nun untersucht werden, ob hier wirklich eine systematische Abweichung vorliegt und wie groß diese ist. Dazu wurde der Unterschied der ersten Messung zu den nachfolgenden anhand der Wiederholungsmessungen auf dem österreichischen Straßennetz quantifiziert, aber die Messdaten der Strecken Nr. 18, Nr. 19, Nr. 36 und Nr. 38 aus bereits erwähnten Gründen ausgeschieden. Für diese Auswertung wurden je Messgeschwindigkeit alle Messstrecken zu einem Abschnitt (69,2 km bzw. 31,6 km) zusammengefasst und die mittlere Differenz (ΔMW) aller 50-m-Mittelwerte sowie die doppelte Standardabweichung (2σ) der Einzeldifferenzen der 1. und 2. Messung und 3. und 4. Messung mit jenen der 2. und 3. Messung bzw. 4. und 5. Messung verglichen. Die Ergebnisse in Tabelle 6-26 konnten für 60 km/h anhand von 1385 und für 40 km/h anhand von 632 50-m-Abschnitten ermittelt werden. Die Resultate zeigten deutlich, dass die Reibungsbeiwerte der 1. Messung im Mittel um μ_{GT} = -0,02 niedriger sind als die der 2. bzw. 3. Messung. Weiters weisen die Differenzen der 1. und 2. bzw. 1. und 3. Messung wesentlich größere Streuungen auf als jene der 2. und 3. Messung bzw. 4. und 5. Messung, welche sich nachteilig auf die Messgenauigkeit auswirken. Der Vergleich der mittleren Differenzen bei unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten von 60 km/h und 40 km/h zeigte sehr gut, dass diese annähernd gleich und fast Null sind (siehe Tabelle 6-26). Um dies graphisch zu verdeutlichen sind in Abbildung 6-11 die Summenlinien der Differenzen der 50-m-Mittelwerte dargestellt.

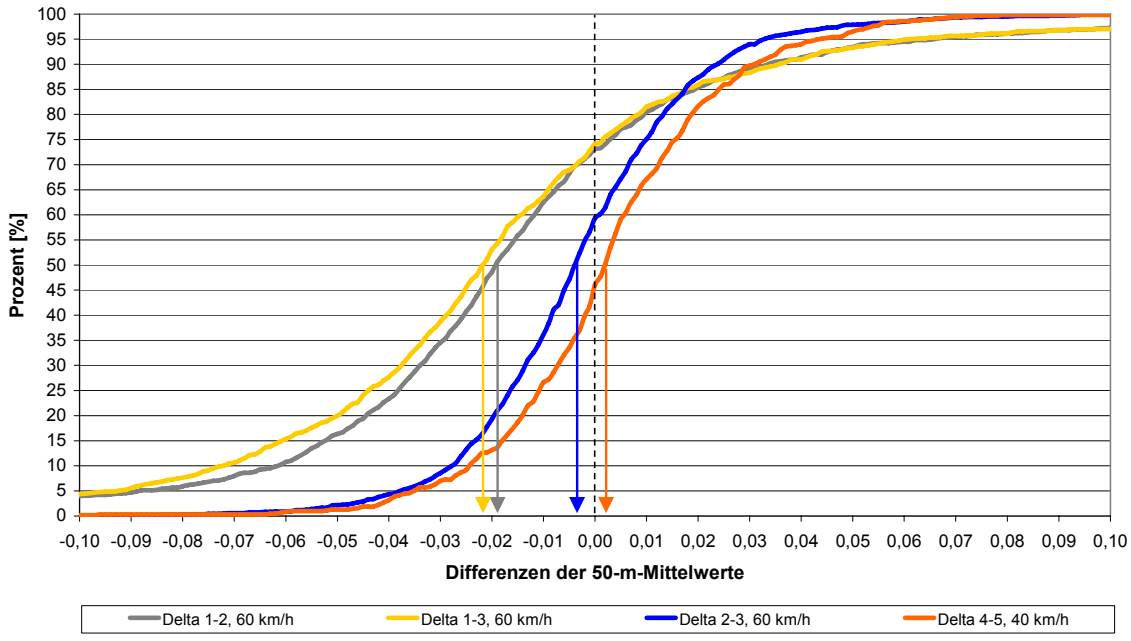


Abbildung 6-11: Summenlinie der Differenzen der 50-m-Mittelwerte

Tabelle 6-26: Gegenüberstellung der mittleren Differenzen der Messungen (50-m-Mittelwerte)

Messgeschwindigkeit	Messung	ΔMW	2σ
60 km/h	1. und 2. Messung	-0,016	±0,106
	1. und 3. Messung	-0,019	±0,109
	2. und 3. Messung	-0,003	±0,046
40 km/h	4. und 5. Messung	+0,003	±0,046

Eine Erklärung für dieses Phänomen wäre, dass bei der Erstmessung mit dem GripTester eine Reinigung der Fahrbahnoberfläche stattfindet, welche sich auf die nachfolgenden Messungen griffigkeitserhöhend auswirkt. Somit war die Vorgehensweise, die Daten der ersten Messungen bei den Ringversuchs-auswertungen zu verwerfen, durchaus gerechtfertigt. Falls allerdings im Rahmen einer Zustandserfassung nur eine Messung durchgeführt werden soll, muss dieser Umstand bei der Beurteilung mit berücksichtigt werden.

6.5 Beurteilung der Messgenauigkeit des GripTesters

6.5.1 Zusammenfassung der Ringversuchsergebnisse

Da alle GripTester-Ringversuche jeweils unter etwas anderen Bedingungen ausgeführt wurden (Messstreckenlänge, Messgeschwindigkeit, Auswerteintervall, Kalibrierung, Einsatz von Spurführungssystemen, etc.) können die Ergebnisse der Präzision nicht einfach zusammengefasst bzw. nur schwer verglichen werden. Primär werden aber die Ergebnisse der zwei letzten deutschen Ringversuche herangezogen, da hier vorher eine gezielte Kalibrierung an den einzelnen GripTestern vorgenommen wurde, die meisten Daten vorhanden waren und auch der österreichische GripTester beteiligt war. Anhand der Ergebnisse der Ringversuche 2003 und 2004 in Deutschland konnte eine vorläufige Präzision des GripTesters für 50-m-Mittelwerte abgeschätzt werden (siehe Tabelle 6-27). Es besteht aber noch Potential, die Vergleichgenauigkeit durch ein verbessertes und regelmäßiges Kalibrierverfahren (an einem oder mehreren Referenzgeräten) zu erhöhen.

Tabelle 6-27: Präzision Messverfahren GripTester

Präzision Messverfahren GripTester für 50-m-Mittelwerte	
Wiederholstandardabweichung s_r	0,015
Vergleichstandardabweichung s_R	0,029
Wiederholgrenze r	0,04
Vergleichgrenze R	0,08

Der Vorteil eines Spurführungssystems zur Verbesserung der Wiederhol- und Vergleichgenauigkeit konnte insgesamt betrachtet noch nicht festgestellt werden. Für

Vergleichsuntersuchungen von verschiedenen Messgeräten kann der Einsatz eines SFS durchaus sinnvoll sein, aber für die praktische Anwendung muss es aufgrund des Entwicklungsstandes vorerst aus folgenden Gründen in Frage gestellt werden:

- Die Rollspur mit der geringsten Griffigkeit muss nicht immer mit einem voreingestellten seitlichen Sollabstand zusammenfallen.
- Auf dem untergeordneten Straßennetz ist zum Großteil keine Fahrbahnrandmarkierung vorhanden, an der sich ein SFS orientieren kann.
- Das System ist anfällig für wechselnde Lichtverhältnisse (Schatten) und schwachen Kontrast.
- Die Montage und Justierung ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht anwenderfreundlich.
- Auf neuen sehr homogenen Fahrbahnoberflächen (Abnahmemessungen) ist die exakte Messspurlage nicht so relevant.

6.5.2 Zusammenfassung der österreichischen Wiederholungsmessungen

Anhand der Wiederholungsmessungen konnte mit dem österreichischen GripTester GT135 eine Wiederholpräzision der 50-m-Mittelwerte mit einer Wiederholstandardabweichung von s_w = 0,012 und einer Wiederholgrenze von r = 0,03 abgeschätzt werden. Bei Betrachtung der 5-m-Mittelwerte erhöhte sich die Wiederholstandardabweichung auf s_w = 0,017 und die Wiederholgrenze auf r = 0,05, das entspricht einer Verschlechterung von ca. 40 %. Das bedeutet, dass für ein kürzeres Auswerteintervall größere Spannweiten zur Beurteilung der Verträglichkeit von zwei Messungen und größere Vertrauensbereiche angewendet werden müssen. Diese Ergebnisse gelten sowohl für die Messgeschwindigkeit 60 km/h als auch 40 km/h und nur bei Ausscheiden der Daten der ersten Messung. Es konnte nämlich gezeigt werden, dass sich die Reibungsbeiwerte einer ersten Messung nicht so gut reproduzieren lassen und im Mittel um μ_{GT} = -0,02 niedriger sind.

6.5.3 Vergleich der Messgenauigkeit GripTester – RoadSTAR

Der Vergleich der Messgenauigkeiten der Griffigkeitsmesssysteme GripTester und RoadSTAR zeigte, dass keine nennenswerten Unterschiede festzustellen waren und fast die selben Grenzwerte angewendet werden können. Da die zulässigen Grenzwerte aber für jedes Messsystem anhand von Maximalwerten festgelegt wurden (siehe Kapitel 6.4.5), wurden für eine bessere Gegenüberstellung auch die Mittelwerte aus allen Messstrecken gebildet und mit den zulässigen Grenzwerten in Tabelle 6-28 zusammengefasst. Für den RoadSTAR wurden dazu die Daten aller 15 Messstrecken verwendet. Für den GripTester wurden nur die Daten von 27 (60 km/h) bzw. 12 (40 km/h) Messstrecken verwendet, da auf 12 Strecken die Länge von 2 km unterschritten wurde und 4 Strecken sehr inhomogene Oberflächen aufwiesen. Weiters wurden die Daten der 3 Strecken (10b, 10c, 42b, 43b, 43c) die öfters

gemessen wurden nicht mit berücksichtigt, um eine gleichwertige Vergleichsbasis zu gewährleisten.

Tabelle 6-28: Vergleich der Messgenauigkeit GripTester – RoadSTAR (Mittelwerte)

Kriterium	RoadSTAR		GripTester		
	Grenzwert	60 km/h	Grenzwert	60 km/h	40 km/h
Betrag der Differenz der Mittelwerte der 2. und 3. Messung (ΔMW)	**≤ 0,03**	0,016	**≤ 0,03**	0,008	0,011
Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Einzelwerte der 2. und 3. Messung (2σ)	**≤ 0,05**	0,034	**≤ 0,06**	0,042	0,043

Die Ergebnisse bestätigen, dass auch das Messsystem GripTester gut reproduzierbare Messwerte mit akzeptablen Streuungen liefert, welche auf dem Niveau des RoadSTAR liegen. Die in den RVS festgelegten Grenzwerte werden ebenfalls von beiden Systemen mit einer ausreichenden Sicherheitsreserve eingehalten. Weiters ist die Messgenauigkeit des GripTesters auch bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten (60 km/h und 40 km/h) nahezu unverändert. Diese Erkenntnis ist eine wesentliche Grundlage für die Vergleichsuntersuchungen GripTester – RoadSTAR.

6.5.4 Vertrauensbereich der Messergebnisse

Für die praktische Anwendung des GripTesters ist neben der Angabe der Präzision aber auch die Kenntnis des Vertrauensbereiches eines einzelnen Messergebnisses erforderlich. Man spricht in Deutschland auch vom sogenannten Vorhaltemaß [42] welches bei der Festlegung von Grenzwerten berücksichtigt wird und die Ungenauigkeiten des Messverfahrens abdeckt.

Solange nur ein GripTester eingesetzt wird, kann für die Ermittlung des Vertrauensbereiches bzw. des Vorhaltemaßes die Wiederholstandardabweichung s_w bzw. s_r herangezogen werden. Sobald aber mehrere GripTester zum Einsatz kommen, ist dafür die Vergleichstandardabweichung s_R maßgebend. In der Tabelle 6-29 wurden die zweiseitigen (q) und einseitigen (q*) Vertrauensgrenzen für einen 50-m-Mittelwert mit einer statistischen Sicherheit von P = 95 % gemäß Kapitel 6.2.14 berechnet. Anzumerken ist dazu allerdings, dass diese für eine Einzelmessung nach einer Vorreinigungsfahrt gelten.

Tabelle 6-29: 95%-Vertrauensgrenzen für den 50-m-Mittelwert einer Einzelmessung

95%-Vertrauensgrenzen	Faktor c	GT 135 Wiederhol-messung	RV Wiederhol-messung	RV Vergleich-messung
zweiseitige (Vergleich mit Sollwert)	1,96	q_w = ±0,026	q_r = ±0,030	q_R = ±0,057
einseitige (Vergleich mit Grenzwert)	1,65	q_w* = ±0,021	q_r* = ±0,025	q_R* = ±0,048

Es bestätigte sich durch die Wiederholungsmessungen auf dem österreichischen Straßennetz, dass der österreichische GripTester GT135 mit seinen Vertrauensgrenzen innerhalb des Kollektivs der GripTester aus den deutschen Ringversuchen liegt. Weiters ist deutlich zu sehen, dass beim Einsatz von mehreren GripTestern fast doppelt so große Vertrauensgrenzen berücksichtigt werden müssen.

Das Vorhaltemaß zu einem Grenzwert würde für das Messsystem GripTester somit q_R^* = ±0,05 betragen. Da zum gegenwärtigen Zeitpunkt in Österreich nur ein GripTester im Einsatz ist, kann das Vorhaltemaß durchaus auf q_r^* = ±0,03 reduziert werden, welches auch für den RoadSTAR bei den Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen angewendet wird [3] [4]. Im Falle einer Doppelmessung, wie es für den GripTester in der RVS 11.06.71 [7] vorgeschrieben ist, können die Vertrauensgrenzen theoretisch durch den Faktor $\sqrt{2}$ dividiert werden. Somit kann eine einseitige Vertrauensgrenze von q_R^* = ±0,03 auch beim Einsatz von mehreren GripTestern gewährleistet werden.

7 Sonstige Untersuchungen mit dem GripTester

7.1 Einfluss der Messgeschwindigkeit

Aus folgenden Gründen ist es notwendig, den Einfluss der Messgeschwindigkeit auf den gemessenen Reibungsbeiwert zu quantifizieren:

- Möglichkeit der Korrektur der Messergebnisse
- Möglichkeit der Umrechnung bzw. Vergleichsmöglichkeit der Messergebnisse bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten

Eine Korrektur der Messergebnisse kann fallweise notwendig sein, wenn eine Abweichung von der gewählten Soll-Messgeschwindigkeit während der Messdurchführung auftritt. Bei Bekanntsein des Geschwindigkeitseinflusses können daraus Korrekturfaktoren für die gemessenen Reibungsbeiwerte ermittelt oder zulässige Toleranzen für die Einhaltung der Messgeschwindigkeit angegeben werden, um eine Veränderung der Reibungsbeiwerte in einem akzeptablen Rahmen zu halten.

Eine Umrechnung der Messergebnisse kann erforderlich sein, wenn es aufgrund örtlicher Gegebenheiten (z.B. Geschwindigkeitsbeschränkung) von vornherein nicht möglich ist, die Griffigkeitsmessungen mit der Standard-Messgeschwindigkeit (z.B. in Österreich 60 km/h) durchzuführen. Bei bekannter Geschwindigkeitsabhängigkeit können dann bei Bedarf die gemessenen Reibungsbeiwerte bei unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten auf die Standard-Messgeschwindigkeit umgerechnet bzw. besser miteinander verglichen werden.

In der deutschen Arbeitsanleitung für den GripTester [93] ist eine maximal zulässige Abweichung von der Soll-Messgeschwindigkeit von ±4 km/h angegeben. Innerhalb dieser Toleranz sind die Reibungsbeiwerte gemäß Formel 7-1 zu korrigieren, eine Geschwindigkeitskorrektur außerhalb dieser Toleranz wird nicht vorgenommen.

$$\mu_{GT,S} = \mu_{GT,V} - \left[(v_s - v_m) \times 0{,}0042\right] \qquad \textbf{Formel 7-1}$$

$\mu_{GT,S}$ = geschwindigkeitskorrigierter Reibungsbeiwert bei Soll-Messgeschwindigkeit v_s

$\mu_{GT,V}$ = Reibungsbeiwert bei Messgeschwindigkeit v_m

v_s = Soll-Messgeschwindigkeit [km/]

v_m = Messgeschwindigkeit [km/h]

Das bedeutet, dass sich mit dieser Geschwindigkeitskorrektur der Reibungsbeiwert μ_{GT} um bis zu ±0,017 verändern kann. Der Faktor für die Geschwindigkeitsabhängigkeit von $\Delta\mu_{GT}$ = 0,0042 je km/h wird dabei für alle Deckschichttypen angewendet. Da in Deutschland je nach örtlicher Gegebenheit

eine andere Soll-Messgeschwindigkeit (20, 40, 60 oder 80 km/h) gewählt werden kann, ist nicht vorgesehen Reibungsbeiwerte bei unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten zu vergleichen bzw. umzurechnen.

In den österreichischen Regelwerken zur Griffigkeitsmessung mit dem RoadSTAR [5] [79] werden in Ausnahmefällen, wenn die Standard-messgeschwindigkeit von 60 km/h unterschritten wird, die Reibungsbeiwerte korrigiert, um sie mit Standardwerten bei 60 km/h vergleichbar zu machen. Die Geschwindigkeitskorrektur auf die Standardmessgeschwindigkeit erfolgt dabei gemäß Formel 7-2.

$$\mu_{RS,60} = \mu_{RS,V} - \left[(60 - v_m) \times 0{,}0025\right] \qquad \textbf{Formel 7-2}$$

$\mu_{RS,60}$ = geschwindigkeitskorrigierter Reibungsbeiwert bei 60 km/h

$\mu_{RS,V}$ = Reibungsbeiwert bei Messgeschwindigkeit v_m

v_m = Messgeschwindigkeit [km/h]

Im Rahmen einer Forschungsarbeit des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) zeigte *Maurer* [17] aber, dass die Geschwindigkeitsabhängigkeit sehr stark von der Art der Deckschicht abhängt und große Streuungen aufweist. Besonders die Drainasphalte passen nicht zum Gesamtbild, da auf diesen Deckschichttypen nahezu keine Geschwindigkeits-abhängigkeit der Reibungsbeiwerte vorhanden ist. Aufgrund der aktuellen Ergebnisse empfiehlt *Maurer* daher die Geschwindigkeitsabhängigkeit von $\Delta\mu_{RS}$ = 0,0025 je km/h auf $\Delta\mu_{RS}$ = 0,0030 je km/h anzuheben und nur für einen Geschwindigkeitsbereich von 30 km/h bis 60 km/h anzuwenden. Weiters sollten die Griffigkeitsmessungen mit dem RoadSTAR tunlichst mit einer konstanten Messgeschwindigkeit von 60 km/h durchgeführt werden, um die Reibungsbeiwerte nicht auf die Standardmessgeschwindigkeit umrechnen zu müssen.

In dieser Arbeit wurde nun untersucht ob die deutsche Geschwindigkeitskorrektur für Reibungsbeiwerte GripTester auch in Österreich zur Anwendung kommen soll und ob die Erkenntnisse der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte RoadSTAR auch für den GripTester zutreffen.

7.1.1 Messprogramm

Zur Untersuchung der Geschwindigkeitsabhängigkeit war der Geschwindigkeitsbereich von 40 km/h bis 60 km/h interessant. Messungen mit einer höheren Geschwindigkeit als der Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h sind nicht vorgesehen und Messungen unter 40 km/h sind im Zugbetrieb für die Leistungsfähigkeit und den Verkehrsfluss bzw. die Verkehrssicherheit nicht zu empfehlen. Bei der Auswahl der Messstrecken lag daher der Schwerpunkt auf dem Landesstraßennetz, da aufgrund der Streckencharakteristik nur hier Probleme bei der Einhaltung der Standardmessgeschwindigkeit erwartet werden können. Auf dem Autobahnnetz wird man im Regelfall nie Probleme mit der Einhaltung der Standardmessgeschwindigkeit haben, wodurch eine Geschwindigkeitskorrektur oder Umrechnung überflüssig wird.

Die Messstrecken wurden so gewählt, dass ein möglichst repräsentativer Ausschnitt der in Österreich auf dem Landesstraßennetz verwendeten Deckschichttypen erfasst wurde. Zusätzlich wurden auf dem Autobahnnetz Messstrecken mit Drainasphalt und lärmminderndem Asphalt untersucht, da hier, wie eingangs erwähnt, Unterschiede bei der Geschwindigkeitsabhängigkeit zu erwarten sind und diese bestätigt werden sollen. Um die Geschwindigkeitsabhängigkeit auch bei einem extrem niedrigen Griffigkeitsniveau feststellen zu können, wurden auch Messungen auf einem „Rutschbelag“ im ÖAMTC Fahrsicherheitszentrum Teesdorf durchgeführt.

Insgesamt wurden auf 24 der 45 Messstrecken Griffigkeitsmessungen mit unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten durchgeführt (Anm.: der „Rutschbelag“ wurde an zwei Tagen in verschiedenen Fahrtrichtungen gemessen). Das Messprogramm umfasste folgende Deckschichttypen:

- 3x lärmmindernder Splittmastixasphalt (LSMA)
- 3x Drainasphalt (DA)
- 3x Splittmastixasphalt (SMA)
- 8x Asphaltbeton (AB)
- 4x bituminöse Tragdeckschicht (BTD)
- 2x bituminöse Oberflächenbehandlung (OBH)
- 1x Rutschbelag TG Inatol

Zu Beginn wurde auf jeder Messstrecke eine 1. Messung mit 60 km/h zur Vorreinigung vorgenommen, um gleiche Verhältnisse für alle Messungen zu schaffen. Danach wurden zwei Messungen (2. und 3. Messung) mit der Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h ausgeführt. Anschließend daran wurden zwei Messungen (4. und 5. Messung) mit 40 km/h durchgeführt, um die Veränderung der Reibungsbeiwerte bei einem Messgeschwindigkeitsunterschied von $\Delta v = 20$ km/h quantifizieren zu können.

7.1.2 Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte GripTester

Für jede Messstrecke wurden die Mittelwerte der Reibungsbeiwerte für 60 km/h aus der 2. und 3. Messung ($\mu_{GT,60}$) und für 40 km/h aus der 4. und 5. Messung ($\mu_{GT,40}$) berechnet. Zur Ermittlung der Geschwindigkeitsabhängigkeit wurden die Differenzen der Mittelwerte je Messstrecke ($\Delta\mu_{GT,40\text{-}60}$) gebildet und durch den Geschwindigkeitsunterschied $\Delta v = 20$ km/h dividiert.

In Abbildung 7-1 sind die Mittelwerte der Reibungsbeiwerte je Messstrecke für die zwei Geschwindigkeiten dargestellt, anhand der Neigung der Geraden ist die Geschwindigkeitsabhängigkeit zu erkennen. Generell zeigte sich unabhängig vom Griffigkeitsniveau und der Art der Deckschicht eine Abnahme der Reibungsbeiwerte bei einer höheren Messgeschwindigkeit. Allerdings ist diese Abnahme (Neigung der Geraden) nicht für alle Deckschichttypen gleich groß.

In Tabelle 7-1 sind die Ergebnisse für die verschiedenen Deckschichtgruppen zusammengefasst. Die Deckschichten LSMA, DA und der „Rutschbelag“ weisen eine wesentlich geringere Geschwindigkeitsabhängigkeit auf als die Deckschichten SMA,

AB, BTD und OBH. Über alle Messstrecken betrachtet ergibt sich eine mittlere Geschwindigkeitsabhängigkeit von $\Delta\mu_{GT} = 0{,}0030$ je km/h mit einer Standardabweichung von $\sigma = 0{,}00131$. Nimmt man die Drainasphalte, die lärmmindernden Splittmastixasphalte und den „Rutschbelag“ heraus, erhöht sich die mittlere Geschwindigkeitsabhängigkeit auf $\Delta\mu_{GT} = 0{,}0036$ je km/h mit einer Standardabweichung von $\sigma = 0{,}00107$. In Tabelle 7-1 fällt auch auf, dass die Ergebnisse der Messstrecken Nr. 9 und Nr. 28 nicht zu den übrigen innerhalb der Deckschichtgruppe passen. Nach Weglassen dieser beiden Messstrecken ergibt sich eine mittlere Geschwindigkeitsabhängigkeit von $\Delta\mu_{GT} = 0{,}0039$ je km/h mit einer Standardabweichung von $\sigma = 0{,}00088$. Dieser Faktor für die Geschwindigkeitsabhängigkeit ist nahe dem Faktor aus Deutschland, konnte aber teilweise nur für ein eingeschränktes Griffigkeitsspektrum je Deckschicht ermittelt werden und gilt nur für den Geschwindigkeitsbereich von 40 km/h bis 60 km/h.

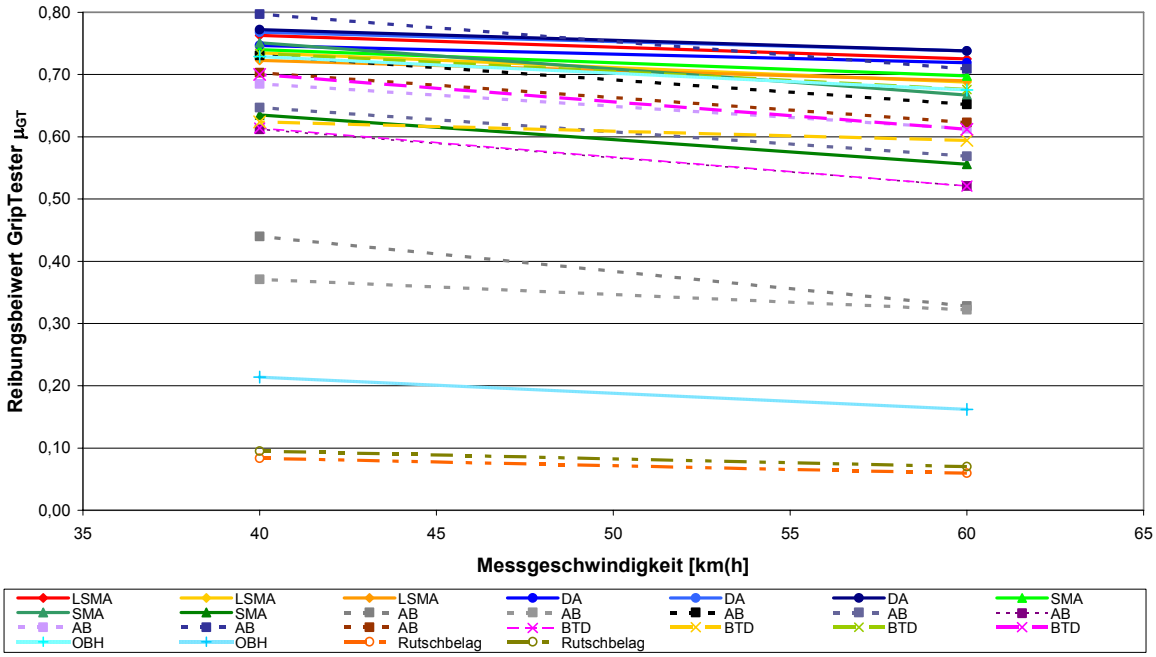


Abbildung 7-1: Geschwindigkeitsabhängigkeit bei unterschiedlichen Deckschichten

Tabelle 7-1: Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte bei 60 km/h und 40 km/h

Nr.	Deckschicht-gruppe	Griffigkeit [-]		Mittlere Differenz	Geschwindigkeits-abhängigkeit
		60 km/h	40 km/h		
		$\mu_{GT,60}$	$\mu_{GT,40}$	$\Delta\mu_{GT,40-60}$	$\Delta\mu_{GT}$ je km/h
1	LSMA	0,725	0,763	0,038	0,0019
2		0,688	0,735	0,047	0,0024
3		0,690	0,723	0,032	0,0017
Mittelwert der Geschwindigkeitsabhängigkeit					**0,0020**
4	DA	0,719	0,747	0,027	0,0014
5		0,738	0,768	0,030	0,0015
6		0,738	0,772	0,034	0,0017
Mittelwert der Geschwindigkeitsabhängigkeit					**0,0015**
9	SMA	0,698	0,740	0,042	0,0021
11		0,667	0,751	0,084	0,0042
13		0,556	0,635	0,079	0,0040
Mittelwert der Geschwindigkeitsabhängigkeit					**0,0034**
14	AB	0,652	0,731	0,078	0,0040
15		0,328	0,440	0,113	0,0056
16		0,322	0,371	0,049	0,0025
20		0,569	0,647	0,078	0,0039
21		0,521	0,612	0,091	0,0046
23		0,613	0,685	0,072	0,0036
24		0,709	0,797	0,088	0,0044
25		0,623	0,703	0,080	0,0040
Mittelwert der Geschwindigkeitsabhängigkeit					**0,0041**
27	BTD	0,521	0,614	0,093	0,0047
28		0,594	0,624	0,030	0,0015
29		0,676	0,734	0,058	0,0029
30		0,612	0,700	0,088	0,0044
Mittelwert der Geschwindigkeitsabhängigkeit					**0,0034**
34	OBH	0,162	0,214	0,052	0,0026
35		0,675	0,729	0,054	0,0027
Mittelwert der Geschwindigkeitsabhängigkeit					**0,0027**
45a	Rutschbelag	0,060	0,084	0,024	0,0012
45b		0,070	0,095	0,025	0,0013
Mittelwert der Geschwindigkeitsabhängigkeit					**0,0012**

7.1.3 Korrektur- und Umrechnungsmöglichkeit der Reibungsbeiwerte GripTester bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten

Trotz der unterschiedlichen Geschwindigkeitsabhängigkeiten bei verschiedenen Deckschichtgruppen wurde nun untersucht, ob eine Korrelation der Reibungsbeiwerte bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten für diese 24 Messstrecken möglich ist. Als Basis für eine Korrektur- bzw. Umrechnungsfunktion sollten drei lineare Regressionsfunktionen (Grau: durch den Ursprung; Blau: eine freie mit dem besten Bestimmtheitsmaß; Grün: eine parallele zur Ausgleichsgeraden

y = x) herangezogen werden. Wie in Abbildung 7-2 zu sehen ist, konnte mit jeder Funktion ein sehr gutes Bestimmtheitsmaß von ca. R^2 = 0,98 zwischen den Messstreckenmittelwerten bei 40 km/h und 60 km/h erreicht werden.

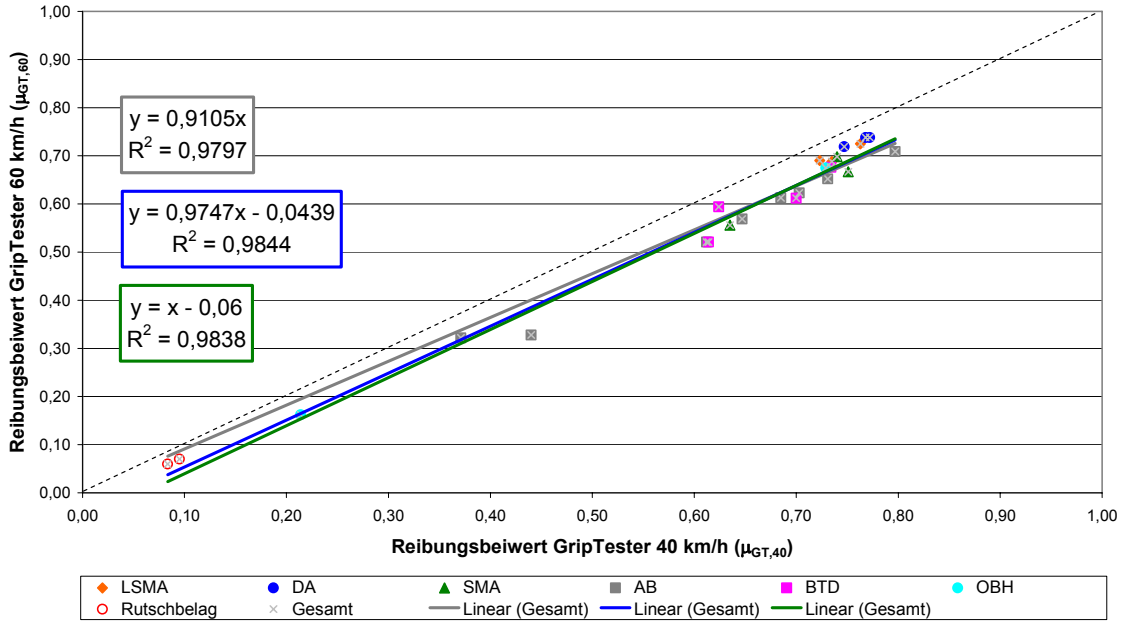


Abbildung 7-2: Korrelation der Messstreckenmittelwerte aller Messstrecken bei 40 km/h und 60 km/h

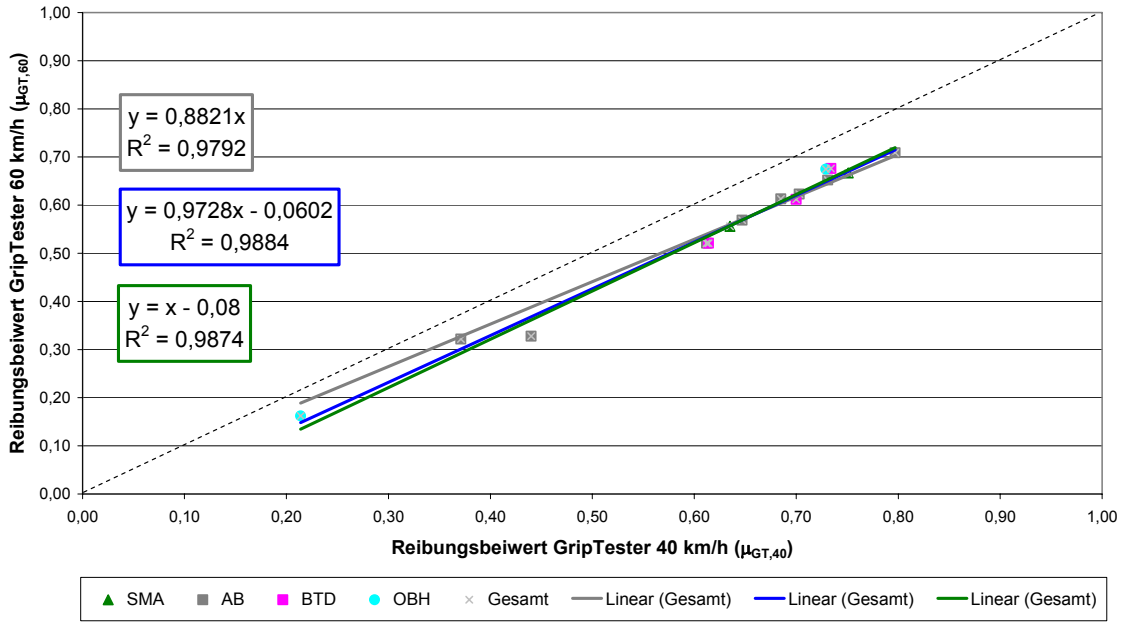


Abbildung 7-3: Korrelation der Messstreckenmittelwerte ohne LSMA, DA, Rutschbelag und Ausreißerstrecken bei 40 km/h und 60 km/h

Da in Kapitel 7.1.2 gezeigt wurde, dass die Geschwindigkeitsabhängigkeiten von LSMA, DA und „Rutschbelag“ von den anderen Deckschichten abweichen und die Strecken Nr. 9 und Nr. 28 nicht zum Kollektiv passten, wurden in Abbildung 7-3 die linearen Regressionsfunktionen ohne diesen Daten ermittelt. Für die übrigen 15

Messstrecken veränderte sich die Neigung für die Funktion durch den Ursprung etwas, bei den anderen beiden Funktionen verschoben sich die Ursprünge um ca. 0,02 nach oben und die Bestimmtheitsmaße verbesserten sich auf ca. $R^2 = 0,99$.

Diese erste Betrachtung lässt aufgrund der sehr guten Korrelation zwischen den Messstreckenmittelwerten bei Messgeschwindigkeiten von 40 km/h und 60 km/h auf eine mögliche Umrechnungsfunktion schließen. Da in Österreich aber die Abschnittslänge für die Beurteilung des Straßenzustandes Griffigkeit mit 50 m festgelegt ist, ist es notwendig, eine Umrechnungsfunktion für 50-m-Mittelwerte zu bestimmen.

Für diese Untersuchung standen auf den 24 Messstrecken insgesamt n = 634 Messwertpaare zur Verfügung. Insgesamt betrug die mittlere Differenz der 50-m-Mittelwerte $\Delta\mu_{GT,40\text{-}60} = 0,070$ mit einer Standardabweichung von $\sigma_{40\text{-}60} = 0,0389$. Das 95%-Konfidenzintervall (Vertrauensbereich) gemäß [113] betrug für die mittlere Differenz $[0,067 \leq \Delta\mu_{GT,40\text{-}60} \leq 0,073]$. Beim Vergleich der Abbildung 7-2 und Abbildung 7-4 wird ersichtlich, dass sich das Bestimmtheitsmaß bei Betrachtung der 50-m-Mittelwerte statt der Messstreckenmittelwerte auf $R^2 = 0,93$ verringert, aber dafür die „Blaue“ und „Grüne“ Regressionsfunktion genau gleich sind.

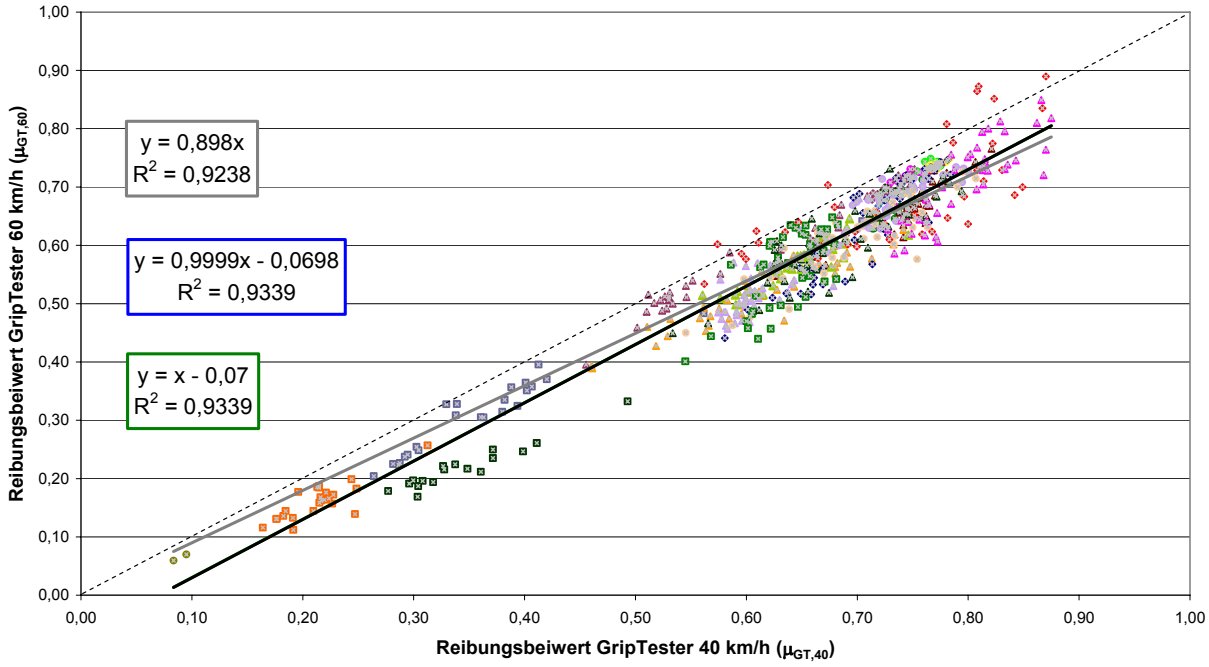


Abbildung 7-4: Korrelation der 50-m-Mittelwerte aller Messstrecken bei 40 km/h und 60 km/h

Allerdings ist in Abbildung 7-4 auch zu sehen, dass bei der Gegenüberstellung der 50-m-Mittelwerte Abschnitte vorhanden sind, auf denen mit 60 km/h höhere oder gleich hohe Reibungsbeiwerte gemessen wurden wie mit 40 km/h. Da dies eigentlich nicht möglich sein sollte, wird als erste Vermutung angenommen, dass hier die Messspurlagen voneinander abwichen, weshalb diese Daten (23 50-m-Abschnitte) für die weitere Untersuchung ausgeschieden wurden. Weiters wurden die Daten der Deckschichten LSMA, DA und des „Rutschbelages“ sowie der Strecken Nr. 9 und

Nr. 28 weggelassen, da bereits gezeigt wurde, dass sich hier die Geschwindigkeitsabhängigkeiten wesentlich von den anderen Deckschichten unterschieden.

Für die verbleibenden 15 Messstrecken konnte aus n = 499 Messwertpaaren eine mittlere Differenz der 50-m-Mittelwerte von $\Delta\mu_{GT,40\text{-}60} = 0{,}081$ mit einer Standardabweichung von $\sigma_{40\text{-}60} = 0{,}0342$ ermittelt werden. Das 95%-Konfidenzintervall für die mittlere Differenz betrug $[0{,}078 \leq \Delta\mu_{GT,40\text{-}60} \leq 0{,}084]$. Nach Weglassen der problematischen Streckenabschnitte zeigt der Vergleich der Abbildung 7-3 und Abbildung 7-5, dass bei Betrachtung der 50-m-Mittelwerte annähernd gleiche Regressionsfunktionen, bei geringfügiger Verschlechterung der Bestimmtheitsmaße auf $R^2 = 0{,}95$ erhalten wurden. Weiters sind die „Blaue“ und „Grüne“ Regressionsfunktion wieder fast genau gleich.

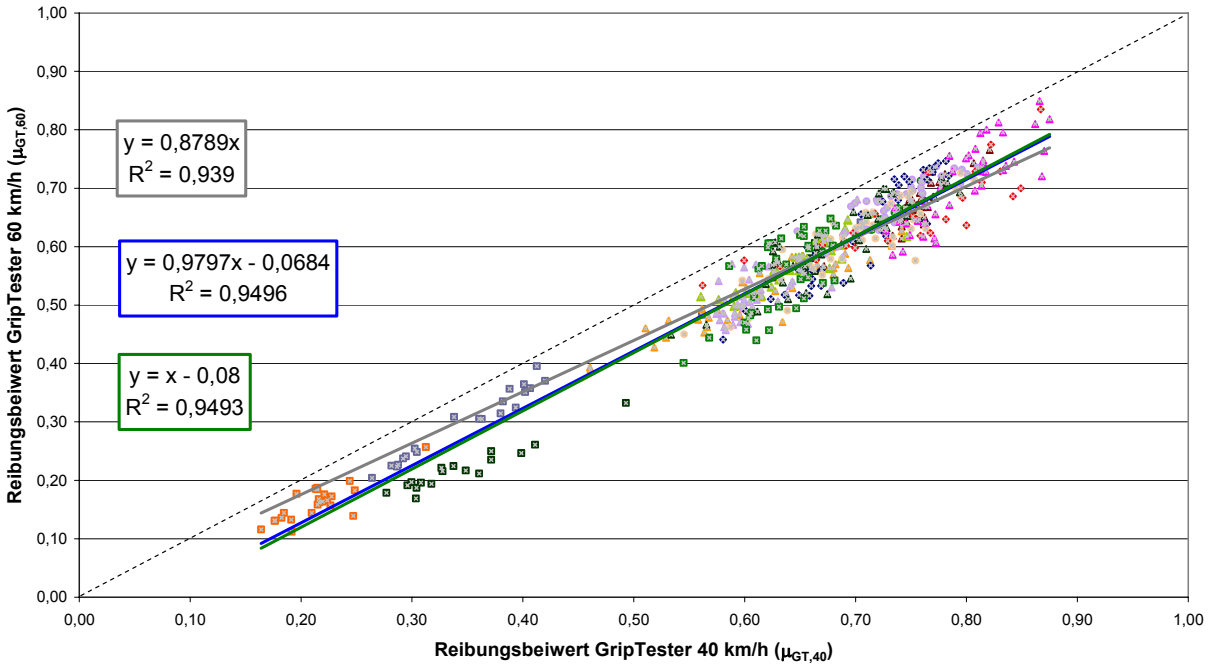


Abbildung 7-5: Korrelation der 50-m-Mittelwerte ohne LSMA, DA, Rutschbelag und Ausreißer bei 40 km/h und 60 km/h

Anhand der vorliegenden Messdaten und der ermittelten Regressionsfunktionen wurde der linearen Regressionsfunktion, welche parallel zur Ausgleichsgeraden (y = x) ist, der Vorzug gegeben, da sie sich auch mit der Funktion mit der besten Korrelation deckte. Daraus ergibt sich folgende Geschwindigkeitskorrekturformel für die Reibungsbeiwerte GripTester:

$$\mu_{GT,S} = \mu_{GT,V} - \left[(v_s - v_m) \times 0{,}004\right] \qquad \textbf{Formel 7-3}$$

$\mu_{GT,S}$ = geschwindigkeitskorrigierter Reibungsbeiwert bei Soll-Messgeschwindigkeit v_s

$\mu_{GT,V}$ = Reibungsbeiwert bei Messgeschwindigkeit v_m

v_s = Soll-Messgeschwindigkeit [km/]

v_m = Messgeschwindigkeit [km/h]

Der Korrekturfaktor von $\Delta\mu_{GT}$ = 0,004 je km/h ist hier fast gleich mit jenem in der deutschen Arbeitsanleitung (Vergleich Formel 7-1 und 7-3), allerdings darf er nicht für lärmmindernde Splittmastixasphalte, Drainasphalte und Waschbetone angewendet werden.

Anhand der Formel 7-3 lässt sich eine vereinfachte Umrechnungsfunktion für Reibungsbeiwerte GripTester von 40 km/h auf 60 km/h ableiten (siehe Formel 7-4). Für diese Funktion beträgt der zweiseitige 95%-Vertrauensbereich für einen geschätzten 50-m-Mittelwert bei 60 km/h aus einem gemessenen 50-m-Mittelwert bei 40 km/h allerdings $\mu_{GT,60}$ ± 0,07, im Falle einer Grenzwertuntersuchung beträgt der 95%-Vertrauensbereich für die untere Grenze $\mu_{GT,60}$ - 0,06 (siehe Abbildung 7-6).

$$\mu_{GT,60} = \mu_{GT,40} - 0{,}08 \qquad \textbf{Formel 7-4}$$

$\mu_{GT,60}$ = geschätzter Reibungsbeiwert für 60 km/h

$\mu_{GT,40}$ = gemessener Reibungsbeiwert bei 40 km/h

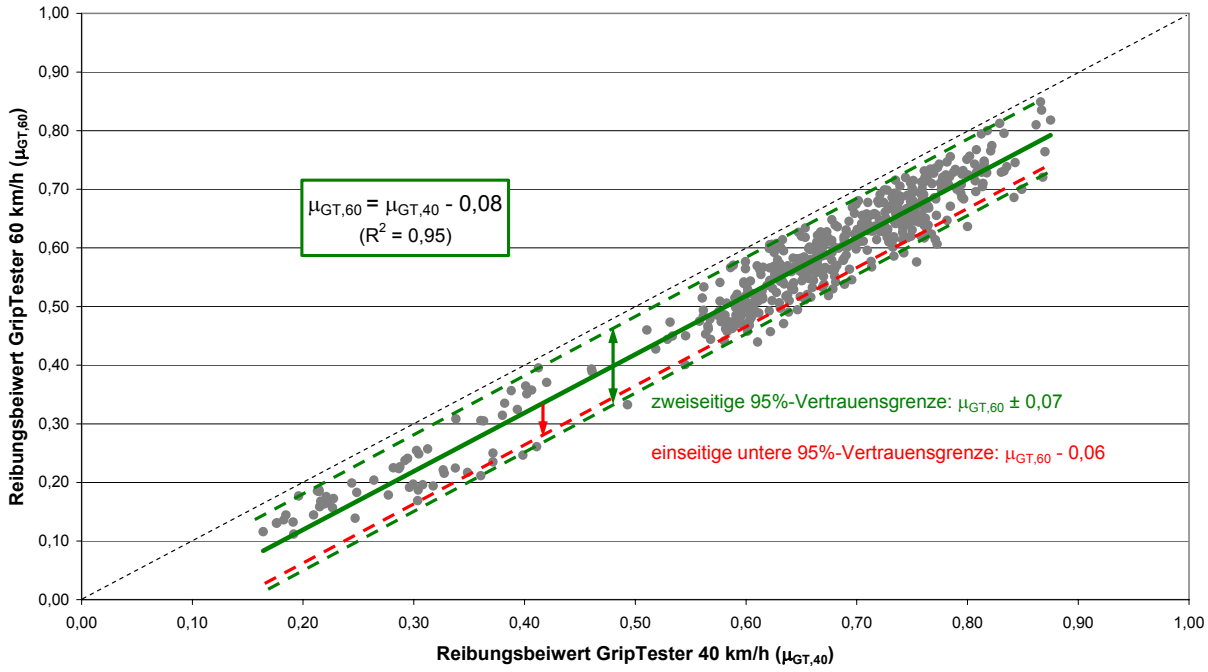


Abbildung 7-6: Ableitung der Umrechnungsfunktion für Reibungsbeiwerte GripTester (50-m-Mittelwerte) von 40 km/h auf 60 km/h für SMA, AB, BTD und OBH

7.1.4 Untersuchungen der TU Bochum zum Einfluss der Messgeschwindigkeit

Die Ruhr Universität Bochum führte ebenfalls im Rahmen eines Forschungsvorhabens der BASt [44] Untersuchungen zur Geschwindigkeitsabhängigkeit durch. Hier konzentrierte man sich zuerst auf den Geschwindigkeitsbereich 20 km/h bis 40 km/h. In Abbildung 7-8 sind die Reibungsbeiwerte eines neuen GripTesters MK2 von 31 verschiedenen Messstrecken bei zwei verschiedenen Geschwindigkeiten gegenübergestellt. Weiters ist hier die Korrekturfunktion (siehe Formel 7-1) der deutschen Arbeitsanleitung für den GripTester [93] eingetragen. Die ermittelte Regressionsfunktion weist im

Gegensatz zu den österreichischen Ergebnissen nur ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0{,}73$ auf, was vor allem an den abweichenden Werten im sehr hohen Griffigkeitsbereich liegt. Dafür passen die Regressionsfunktion (schwarze Linie) und die Korrekturfunktion der deutschen Arbeitsanleitung (rote strichlierte Linie), welche eigentlich nur für einen Geschwindigkeitsunterschied von ±4 km/h statt ±20 km/h anzuwenden ist, gut zusammen.

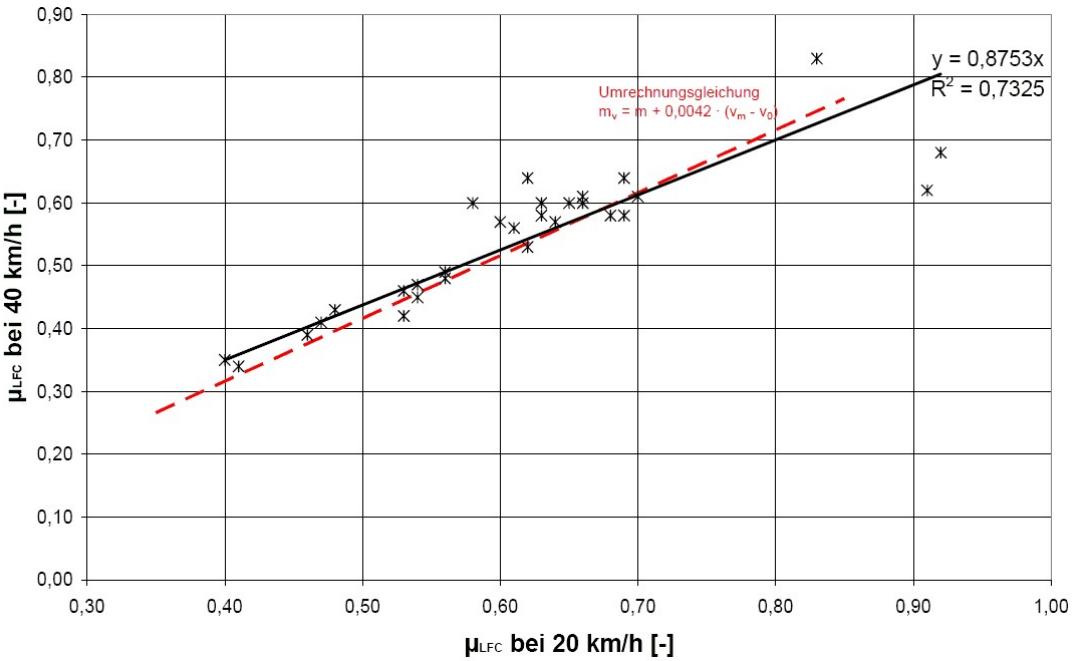


Abbildung 7-7: Korrelation von 31 Messstreckenmittelwerten bei 20 km/h und 40 km/h [44]

7.1.5 Zusammenfassende Beurteilung des Einflusses der Messgeschwindigkeit

Die Untersuchungen zeigten, dass der Einfluss der Messgeschwindigkeit auf den gemessenen Reibungsbeiwert auf den verschiedenen Deckschichten variiert. Deshalb muss die Messgeschwindigkeit während der Messung möglichst konstant gehalten werden, um diesen unterschiedlichen Einfluss zu minimieren. Daher wird für Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester eine maximale Abweichung von der Soll-Messgeschwindigkeit von ±3 km/h empfohlen. Dadurch wird gewährleistet, dass der gemessene Reibungsbeiwert auf stark geschwindigkeitsabhängigen Deckschichten um maximal $\mu_{GT} \pm 0{,}01$ abweicht. Bei Verwendung eines Zugfahrzeuges mit Tempomat ist die Einhaltung dieser Geschwindigkeitstoleranz leicht möglich.

Eine Geschwindigkeitskorrektur der Reibungsbeiwerte wie in Deutschland nach Formel 7-1 wird nicht empfohlen, da diese nicht für alle Deckschichtgruppen gültig ist. Die Anwendung der Geschwindigkeitskorrektur nach Formel 7-3 nur für die Deckschichten SMA, AB, BTD und OBH wird ebenfalls nicht als notwendig erachtet, da mit der zulässigen Abweichung von der Soll-Messgeschwindigkeit keine maßgeblichen Korrekturen auftreten.

Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte GripTester auf verschiedenen Deckschichten zeigte ein ähnliches Bild wie auch für den RoadSTAR

[17]. Daher wird für den GripTester ebenfalls eine konstante Messgeschwindigkeit, unabhängig ob Ortsgebiet, Freilandstrecke, Schnellstraße oder Autobahn vorgeschlagen, um eine bessere Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu ermöglichen. Die Umrechnung von Reibungsbeiwerten gemäß Formel 7-4 sollte trotz sehr guter Korrelation im Regelfall vermieden werden und nur in Ausnahmefällen, z.B. wenn nicht mit der Standardmessgeschwindigkeit 60 km/h gemessen werden kann, angewendet werden.

Die Ergebnisse der TU Bochum zeigten, dass trotz einer schlechteren Korrelation die Geschwindigkeitsabhängigkeit im Bereich von 20 km/h bis 40 km/h durchaus in der selben Größenordnung liegt wie zwischen 40 km/h und 60 km/h.

7.2 Einfluss der Textur

Wie in Kapitel 7.1 gezeigt wurde, ist die Änderung des Griffigkeitsniveaus bei unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten belagsabhängig. Es ist anzunehmen, dass hier die Textur der Fahrbahn einen wesentlichen Einfluss hat. Um diesen Einfluss zu erfassen, wurden ergänzend zu den Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester auch Texturmessungen durchgeführt. Diese wurden von arsenal research mit der Lasertexturmesseinrichtung des System RoadSTAR gemäß RVS 11.06.66 [120] ausgeführt. Als Datengrundlage wurden die mittleren Profiltiefen (MPD – Mean Profile Depth) für 50-m-Abschnitte zur Verfügung gestellt.

In den österreichischen Richtlinien RVS 08.16.01 [3] und RVS 08.17.02 [4] werden Anforderungen an die Textur neuer Deckschichten gestellt, welche mit dem Sandfleckverfahren gemäß ÖNORM EN 13036-1 [121] zu überprüfen sind. Durch eine geforderte minimale mittlere Texturtiefe (MTD – Mean Texture Depth) von 0,4 mm soll eine ausreichende Griffigkeit gewährleistet werden. Um dies zu bestätigen, wurden zusätzlich auch punktuelle Texturmessungen mit dem Sandfleckverfahren durchgeführt.

7.2.1 Messprogramm

Für die Gegenüberstellung Griffigkeit – Textur wurden Texturmessungen auf 40 Messstrecken mit dem RoadSTAR und auf 11 Messstrecken mit dem Sandfleckverfahren durchgeführt. Die Messstrecken wurden so gewählt, dass ein möglichst repräsentativer Ausschnitt der in Österreich vorkommenden Deckschichttypen erfasst wurde:

- 3x lärmmindernder Splittmastixasphalt (LSMA)
- 3x Drainasphalt (DA)
- 7x Splittmastixasphalt (SMA)
- 9x Asphaltbeton (AB)
- 8x bituminöse Tragdeckschicht (BTD)
- 3x bituminöse Oberflächenbehandlung (OBH)
- 2x Dünnschichtdecke (DD)

- 2x Beton
- 2x Waschbeton
- 1x Rutschbelag TG Inatol

Zur Ermittlung der Griffigkeit wurde auf jeder Messstrecke eine 1. Messung mit 60 km/h zur Vorreinigung vorgenommen. Danach wurden zwei Messungen (2. und 3. Messung) mit der Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h ausgeführt. Auf 23 Strecken wurden anschließend auch zwei Messungen (4. und 5. Messung) mit 40 km/h durchgeführt. Die Texturmessungen wurden unabhängig von den Griffigkeitsmessungen an anderen Tagen vorgenommen. Insgesamt standen von den 40 Messstrecken die MPD-Werte von 1265 50-m-Abschnitten zur Verfügung sowie von 11 Messstrecken (Nr. 13, 22, 27, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 38, 39) die MTD-Werte von 54 Messpunkten.

7.2.2 Texturabhängigkeit der Reibungsbeiwerte GripTester

Für die Auswertung wurden zuerst getrennt für jede Messstrecke die Mittelwerte der Griffigkeit ($\mu_{GT,60}$, $\mu_{GT,40}$) und der Textur (MPD, MTD) über die gesamte Länge der Strecke berechnet und in Tabelle 7-2 zusammengefasst. Die Gegenüberstellung der Messstreckenmittelwerte der Reibungsbeiwerte GripTester bei 60 km/h und der MPD-Werte RoadSTAR lässt auf keine eindeutige Abhängigkeit schließen (siehe Abbildung 7-8). Auch bei Betrachtung der 50-m-Mittelwerte, konnte keine aussagekräftige Korrelation zwischen Griffigkeit und Textur abgeleitet werden (siehe Abbildung 7-9). Ein ähnlich schlechter Zusammenhang zeigte sich auch bei der Gegenüberstellung der Reibungsbeiwerte GripTester bei 40 km/h und der MPD-Werte.

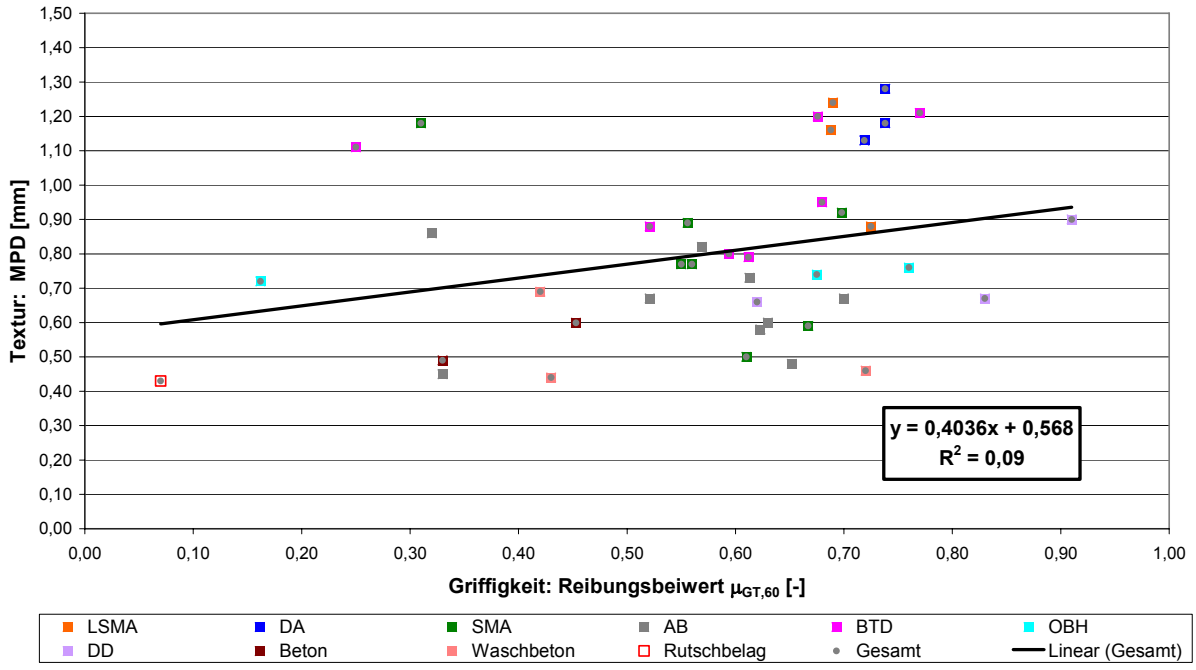


Abbildung 7-8: Korrelation der Messstreckenmittelwerte Reibungsbeiwert GripTester $\mu_{GT,60}$ und Mittlere Profiltiefe RoadSTAR MPD

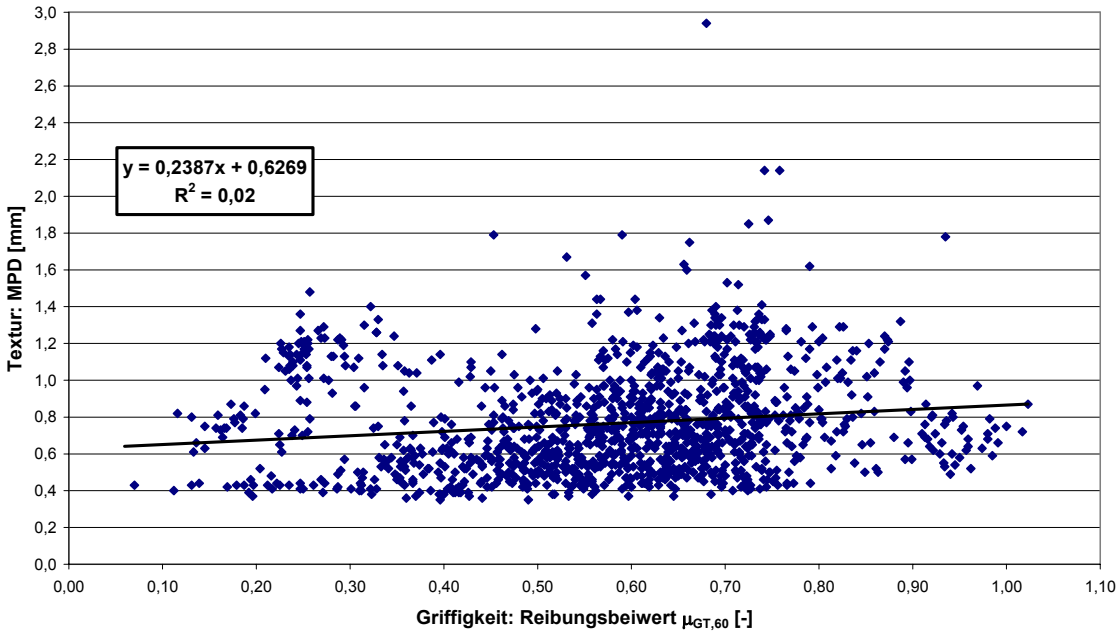


Abbildung 7-9: Korrelation der 50-m-Mittelwerte Reibungsbeiwert GripTester $\mu_{GT,60}$ und mittlere Profiltiefe RoadSTAR MPD

Unerklärlich waren allerdings die Ergebnisse der Waschbetonstrecke (Nr. 42a/Nr. 42b), welche im Juli und Oktober 2005 gemessen wurde. Die Griffigkeit war unverändert auf dem gleichen Niveau, allerdings wurde eine ganz andere Textur gemessen. Interessant ist weiters, dass auf dem „Rutschbelag“ ein ähnlich hoher MPD-Wert gemessen wurde wie auf einem Waschbeton, obwohl sich diese Oberflächen deutlich voneinander unterscheiden (Vergleich Nr. 42b/Nr. 45b in Tabelle 7-2). Die Lösung dürfte hier wohl bei der Texturmesseinrichtung des RoadSTAR zu suchen sein.

In einem weiteren Schritt wurde nun untersucht, inwieweit die Reibungsbeiwerte GripTester von den MTD-Werten abhängig sind. Dazu wurden die Ergebnisse der Sandfleckversuche mit den örtlich zugehörigen 5-m-Mittelwerten aus den Griffigkeitsmessungen gegenübergestellt. Zusätzlich wurden die linienförmigen Texturmesswerte des RoadSTAR gemäß der Formel nach ÖNORM EN ISO 13473-1 [122] auf geschätzte Texturmesswerte (ETD – Estimated Texture Depth), welche äquivalent zum Sandfleckverfahren sind, umgerechnet. Wie in Abbildung 7-10 zu sehen ist, lässt sich auch hier keine eindeutige Abhängigkeit der Griffigkeit von der Textur feststellen.

Tabelle 7-2: Makrotextur und Reibungsbeiwerte GripTester je Messstrecke

Nr.	Deckschicht-gruppe	Makrotextur [mm]		Griffigkeit [-]	
		MPD	MTD	$\mu_{GT,60}$	$\mu_{GT,40}$
1	LSMA	0,88		0,73	0,76
2		1,16		0,69	0,74
3		1,24		0,69	0,72
4	DA	1,13		0,72	0,75
5		1,28		0,74	0,77
6		1,18		0,74	0,77
7	SMA	0,50		0,61	
8a		0,77		0,56	
9		0,92		0,70	0,74
10a		0,77		0,55	
11		0,59		0,67	0,75
12		1,18		0,31	
13		0,89	0,67	0,56	0,64
14	AB	0,48		0,65	0,73
15		0,45		0,33	0,44
16		0,86		0,32	0,37
17		0,60		0,63	
20		0,82		0,57	0,65
21		0,67		0,52	0,61
22		0,67	0,56	0,70	
23		0,73		0,61	0,69
25		0,58		0,62	0,70
26	BTD	1,11		0,25	
27		0,88	0,71	0,52	0,61
28		0,80	0,80	0,59	0,62
29		1,20		0,68	0,73
30		0,79		0,61	0,70
31		0,95	0,76	0,68	
32		1,21	1,12	0,77	
33		0,66	0,62	0,62	
34	OBH	0,72		0,16	0,21
35		0,74	0,50	0,68	0,73
36		0,76	0,77	0,76	
38	DD	0,90	0,72	0,91	
39		0,67	0,86	0,83	
40	Beton	0,60		0,45	
41		0,49		0,33	
42a	Waschbeton	0,69		0,42	
42b		0,44		0,43	
44		0,46		0,72	
45b	Rutschbelag	0,43	N.M.*)	0,07	0,10

*) Mit dem Sandfleckverfahren war eine Bestimmung der Texturtiefe nicht möglich.

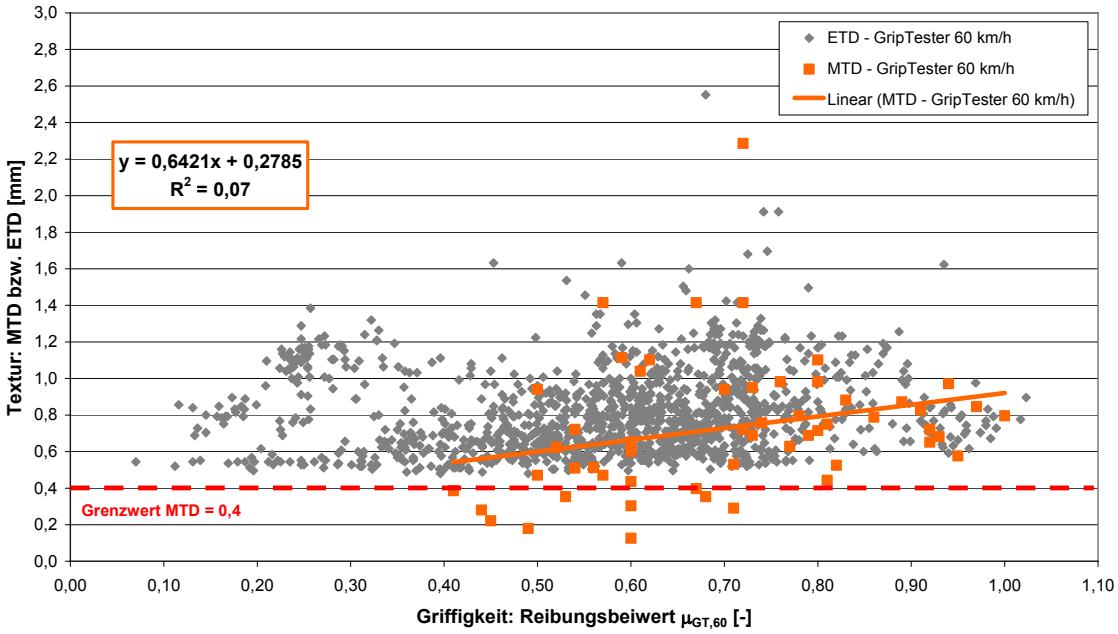


Abbildung 7-10: Korrelation der Reibungsbeiwerte GripTester $\mu_{GT,60}$ und mittlere Texturtiefe Sandfleckverfahren MTD bzw. geschätzte Texturtiefe ETD

7.2.3 Textur- und Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte

Wie in Kapitel 7.1 gezeigt wurde, ist die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte nicht auf allen Deckschichttypen gleich. Nun ist anzunehmen, dass die Textur der Fahrbahnoberfläche hier einen wesentlichen Einfluss hat. Von 577 50-m-Abschnitten standen die Texturwerte (MPD) des RoadSTAR sowie die Reibungsbeiwerte des GripTesters für die zwei Messgeschwindigkeiten 40 km/h und 60 km/h zur Verfügung. In Abbildung 7-11 wurden die Differenzen der Reibungsbeiwerte $\Delta\mu_{GT,40\text{-}60}$ der zwei Messgeschwindigkeiten und die mittleren Profiltiefen aufgetragen. Es ist ein leichter Trend ersichtlich, aber leider keine eindeutige Abhängigkeit ableitbar.

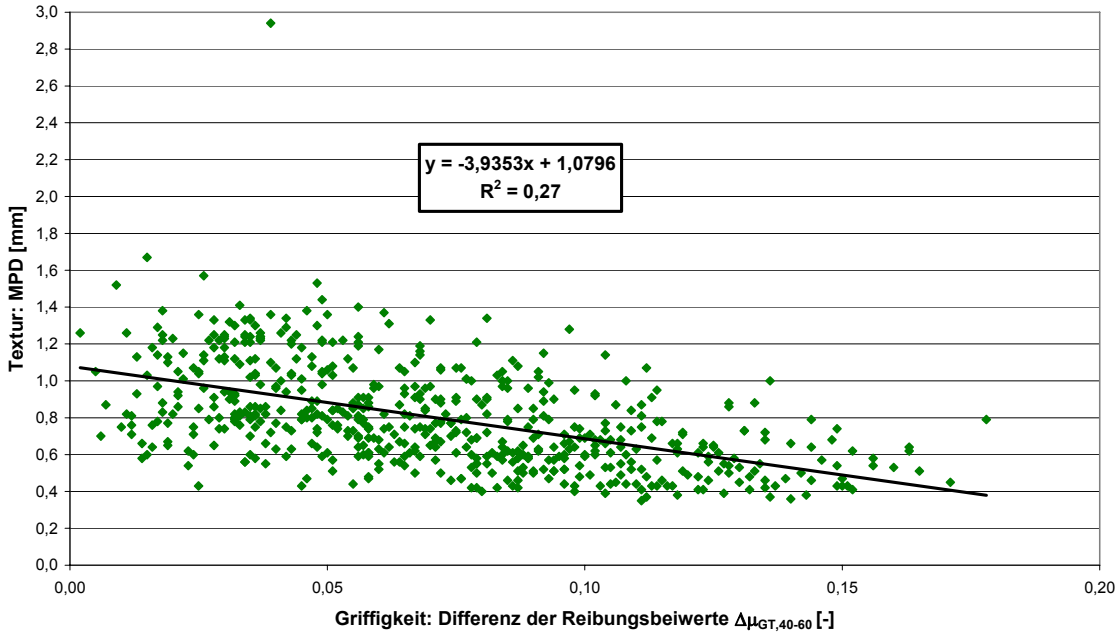


Abbildung 7-11: Korrelation der Differenz der Reibungsbeiwerte $\Delta\mu_{GT,40\text{-}60}$ und mittleren Profiltiefe RoadSTAR MPD

7.2.4 Zusammenfassende Beurteilung des Einflusses der Textur

Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchungen muss geschlossen werden, dass die Reibungsbeiwerte GripTester nicht nur von der Makrotextur der Fahrbahnoberfläche abhängig sind. Daher kann von den MPD- bzw. MTD-Werten alleine kein Rückschuss auf die Griffigkeit einer Fahrbahnoberfläche getroffen werden. Auffällig war, dass aus einem hohen Texturwert nicht automatisch eine hohe Griffigkeit resultiert und umgekehrt. Dies bestätigt, dass auch die Mikrotextur des Gesteins bzw. das Zusammenspiel von Mikro- und Makrotextur den gemessenen Reibungsbeiwert beeinflussen. Weiters zeigten die Ergebnisse, dass bei Unterschreitung des Grenzwertes von MTD = 0,4 mm nicht automatisch eine schlechte Griffigkeit vorhanden sein muss (siehe Abbildung 7-10).

7.3 Einfluss der Temperatur

Je nach Land werden für manche Griffigkeitsmesssysteme in den Messanweisungen Temperaturkorrekturen für die gemessenen Reibungsbeiwerte angegeben. Dafür werden die Fahrbahnoberflächen-, Luft-, Wasser-, oder Messreifentemperaturen bzw. Kombinationen daraus herangezogen.

In der deutschen Arbeitsanleitung für den GripTester [93] ist eine Temperaturkorrektur in Abhängigkeit von der Fahrbahntemperatur angegeben. Hierbei werden die Reibungsbeiwerte gemäß Formel 7-5 innerhalb einer zulässigen Temperaturspanne von 5 °C bis 50 °C auf eine Bezugstemperatur von 20 °C korrigiert.

$$\mu_{GT,T,S} = \mu_{GT,S} - 0{,}003 \times (20 - T)$$ **Formel 7-5**

$\mu_{GT,T,S}$ = temperatur- und geschwindigkeitskorrigierter Reibungsbeiwert

$\mu_{GT,S}$ = geschwindigkeitskorrigierter Reibungsbeiwert

T = Fahrbahnoberflächentemperatur [°C]

Bei dieser Formel wird davon ausgegangen, dass der GripTester bei Temperaturen unter 20 °C zu hohe Reibungsbeiwerte und bei Temperaturen über 20 °C zu niedrige Reibungsbeiwerte liefert. Das bedeutet, dass sich mit dieser Temperaturkorrektur der Reibungsbeiwert μ_{GT} um -0,04 bis zu +0,09 verändern kann.

In dieser Arbeit sollte nun diese Temperaturkorrektur auf ihre Anwendbarkeit überprüft werden.

7.3.1 Messprogramm

Da es schwer vorauszusagen ist, ob und wie sich die Fahrbahntemperatur im Laufe eines Tages verändern wird, bzw. wann große Temperaturdifferenzen innerhalb kurzer Zeitabstände auftreten, wurde für diese Untersuchungen auf die Messdaten im Rahmen der Qualitätssicherung (siehe Kapitel 7.5) zurückgegriffen, da hier Daten aus verschiedenen Jahreszeiten mit unterschiedlichen Fahrbahnoberflächentemperaturen vorlagen. Zusätzlich wurde auch der „Rutschbelag“ im Sommer und Winter gemessen, um den Einfluss bei einem extrem niedrigen Griffigkeitsniveau abschätzen zu können. Das Messprogramm enthielt folgende drei Deckschichttypen:

- 1x Waschbeton
- 1x Splittmastixasphalt (SMA)
- 1x Rutschbelag TG Inatol

Der Waschbeton und Splittmastixasphalt waren jeweils 2 km lang und lagen direkt hintereinander, der Rutschbelag war nur 50 m lang. Auf jeder Messstrecke wurden mit zwei verschiedenen Messreifen (einem gebrauchten und einem ungebrauchten) jeweils drei Messungen mit der Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h ausgeführt, um auch den Gebrauchszustand des Messreifens mit berücksichtigen zu können. Die jeweils erste Messung diente nur zur Vorreinigung und zum Einfahren. Die Fahrbahnoberflächentemperatur wurde jeweils am Beginn jeder Messung ermittelt.

7.3.2 Temperaturabhängigkeit der Reibungsbeiwerte

Für die Auswertung wurden die Messstreckenmittelwerte aus allen vier Messungen gebildet, da sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messreifen ergab (siehe Kapitel 7.5.3). Da die Fahrbahnoberflächentemperaturen während der Messungen je Strecke kaum schwankten (Messungen wurden innerhalb von 2 h durchgeführt), wurden diese ebenfalls gemittelt. In Abbildung 7-12 konnte trotz großer Temperaturdifferenzen keine eindeutige Temperaturabhängigkeit für die

Deckschichten Waschbeton, SMA und Rutschbelag gezeigt werden, da die Neigungen der Geraden fast Null waren.

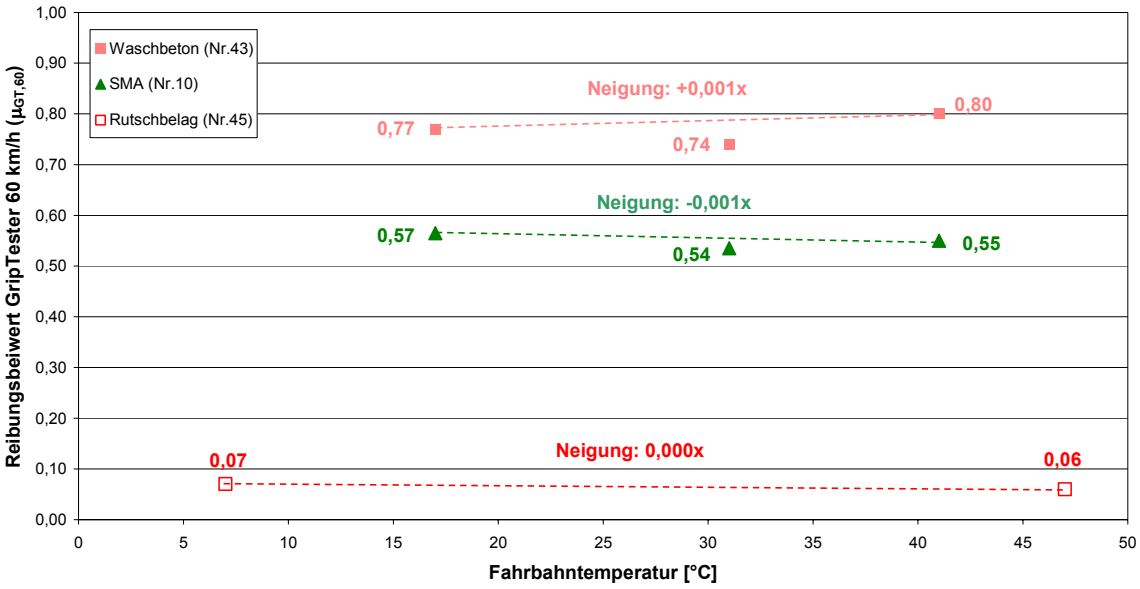


Abbildung 7-12: Temperaturabhängigkeit der Reibungsbeiwerte GripTester

Trotzdem wurde nun versucht, die Reibungsbeiwerte gemäß Formel 7-5 zu korrigieren. Durch diese Korrektur glichen sich die Reibungsbeiwerte auf dem Waschbeton und SMA bei 17 °C und 31 °C sehr gut an (Vergleich Abbildung 7-12 und Abbildung 7-13), aber bei 41 °C wurden sie deutlich nach oben korrigiert und passen nur mehr schlecht zu den anderen Werten. Auf dem Rutschbelag bewirkte die Korrektur eine deutliche Verschlechterung und die Reibungsbeiwerte passten nur mehr schlecht zusammen.

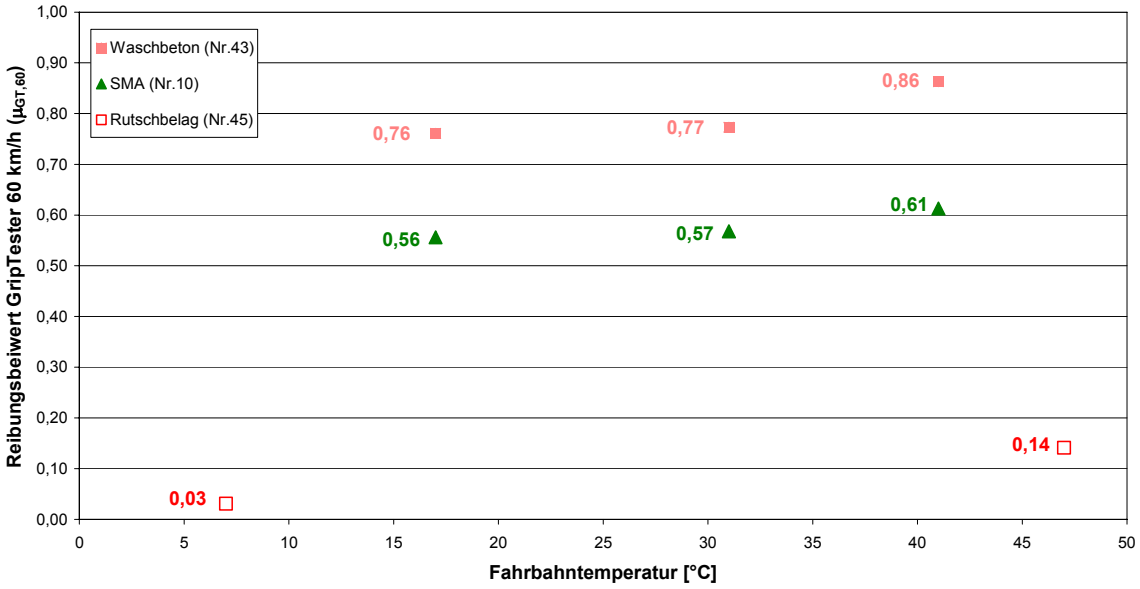


Abbildung 7-13: Temperaturkorrigierte Reibungsbeiwerte GripTester

7.3.3 Zusammenfassende Beurteilung des Einflusses der Temperatur

Auf den ersten Blick scheint es, als hätte die Fahrbahnoberflächentemperatur kaum einen Einfluss auf die Messergebnisse und die deutsche Korrekturformel wäre nicht notwendig. Aber wenn man nur den Temperaturbereich von 15 °C bis 30 °C betrachtet, lieferte die Korrekturformel brauchbare Ergebnisse. Außerhalb dieses Temperaturbereiches waren die Resultate der Korrektur allerdings unbefriedigend, vor allem auf dem sehr glatten Rutschbelag, der anscheinend keine Temperaturabhängigkeit aufweist.

Zu bedenken ist allerdings, dass die Messungen mit sehr großen Zeitabständen von ca. 3 bis 12 Monaten durchgeführt wurden und sich die Griffigkeit eventuell auch aufgrund der jahreszeitlichen Schwankungen verändert haben könnte, dadurch wäre der Temperatureinfluss natürlich verfälscht.

Die zulässige Temperaturspanne der Fahrbahnoberfläche von 5 °C bis 50 °C für Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester gemäß der FGSV Arbeitsanleitung [93] erscheint anhand der vorliegenden Ergebnisse für eine Korrektur als zu groß. Die in der RVS 11.06.71 [7] angeführte Temperaturspanne von 5 °C bis 40 °C ist sinnvoller, da man dadurch extreme Messbedingungen mit eventuell verfälschten Messergebnissen ausschließen kann. Anhand der geringen vorliegenden Datenmenge kann vorerst keine eindeutige Temperaturkorrektur abgeleitet bzw. die deutsche Korrekturformel nicht bestätigt. werden.

7.4 Einfluss des Kurvenverhaltens

Manche Griffigkeitsmesssysteme (z.B. SKM bzw. SCRIM) haben aufgrund ihrer Konfiguration bzw. Anordnung des Messreifens Probleme bei der Kurvenfahrt. Anhängig davon, ob es sich um eine Rechts- oder Linkskurve handelt, werden unterschiedliche Reibungsbeiwerte gemessen. Auch beim RoadSTAR ist durch die Konstruktion der Griffigkeitsmesseinrichtung der messbare Kurvenradius beschränkt. Für die Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h beträgt der minimale Kurvenradius 85 m und bei der geringsten Messgeschwindigkeit von 30 km/h können keine Griffigkeitswerte in Kurven mit Radien unter 50 m ermittelt werden [79]. Daraus ergibt sich ein möglicher Einsatzbereich für den GripTester, um den RoadSTAR sinnvoll zu ergänzen.

Da aber Erfahrungen von europäischen GripTester Betreibern gezeigt haben, dass der GripTester der alten Baureihe MK1 ebenfalls ein Kurvenproblem aufweist, sollte das im Rahmen dieser Arbeit nachgewiesen und quantifiziert werden. Vor allem, weil zum gegenständlichen Zeitpunkt sämtliche Messungen in Österreich mit einem MK1 GripTester durchgeführt wurden. Der Hersteller des GripTesters hat das Phänomen der Kurvenproblematik auch bereits erkannt und mit dem aktuellen Modell MK2 behoben. Dies sollte ebenfalls bestätigt werden.

Da es ohne Totalsperrung einer Straße nicht möglich ist, eine Kurve oder einen Kreisverkehr in zwei unterschiedlichen Fahrtrichtungen zu messen musste eine Messstrecke gefunden werden, die nicht unter Verkehr liegt. Weiters ist im Regelfall der GripTester exzentrisch rechts am Heck des Zugfahrzeuges angehängt. Damit der GripTester dieselbe Kreisbahn aber in zwei verschiedenen Richtungen messen kann, muss mit dem Zugfahrzeug entweder sehr stark versetzt gefahren werden oder eine Anhängekupplung mittig und/oder links und rechts am Heck des Zugfahrzeuges vorhanden sein.

Da die Universität Bochum mit ihrem neuen GripTester MK2 ebenfalls nachweisen wollte, ob das Kurvenproblem wirklich behoben wurde, ergab sich eine gute Möglichkeit der Zusammenarbeit. Am 14.05.2007 fanden die gemeinsamen Griffigkeitsmessungen im Opel Testzentrum Dudenhofen in Deutschland statt.

7.4.1 Messprogramm

Für die Untersuchung des Kurvenverhaltens wurde dem Team im Opel Testzentrum das kreisförmige „SkidPad“ mit einem Durchmesser von ca. 100 m zur Verfügung gestellt. Darauf wurden zwei Halbkreisbögen mit den Radien R = 30 m und R = 40 m markiert. An dem Versuch nahmen insgesamt vier GripTester MK1 und drei GripTester MK2 teil. Die beiden Halbkreisbögen sollten mit jedem Messgerät jeweils mit 20, 30 und 40 km/h zweimal rechtsrum und zweimal linksrum befahren werden. Allerdings zeigte sich beim ersten Durchgang, dass es mit dem Zugfahrzeug kaum möglich war den Radius 30 m mit 40 km/h ordentlich zu durchfahren. Um das Risiko für die Fahrer zu minimieren, wurde hier deshalb auf weitere Messungen verzichtet. Von den ursprünglich 168 geplanten Messungen wurden deshalb nur 144 durchgeführt.

Tabelle 7-3: Versuchsprogramm Kurvenverhalten im Opel Testzentrum

Kurvenverhalten Opel "SkidPad"		Anmerkung
Anzahl der GripTester	7	4 MK1 und 3 MK2
Anzahl der Messstrecken	2	2 Halbkreisbögen (R = 30 m, R = 40 m)
Messstreckenlänge [m]	95/125	Halbkreisbogenlänge
Messgeschwindigkeiten [km/h]	20/30/40	
Wasserfilmdicke [mm]	0,5	
Anzahl der Messungen	144	2x links, 2x rechts je Messgeschwindigkeit
Datenaufzeichnungsintervall [m]	1,0	Ausnahme GT213: 10 m
Auswerteintervall [m]	50	ein 50-m-Abschnitt in Kreisbogenmitte

Abschließend wurde mit dem GripTester MK1 des ISTU der Halbkreisbogen R = 40 m im Schiebebetrieb (ca. 6 km/h) einmal rechts- und linksrum befahren. Der Vergleich mit einem MK2 im Schiebebetrieb war leider nicht mehr möglich, da aufgrund heftiger Regenschauer die weiteren Untersuchungen leider abgebrochen werden mussten.

7.4.2 Kurvenverhalten von MK1 und MK2

Um die Einflüsse auf die Messergebnisse durch das Ein- und Auslenken beim Übergang am Kreisbogenbeginn bzw. -ende auszuschließen, wurde für die Auswertung jeweils nur ein 50-m-Abschnitt in der Mitte des Kreisbogens ausgewählt, da hier die Messergebnisse weitgehend konstant waren (siehe Anhang C). Für diesen 50-m-Abschnitt wurden – getrennt für die Rechts- und Linkskurven – je GripTester die Mittelwerte aus zwei Messungen berechnet und in Tabelle 7-4 zusammengefasst. Anschließend wurden die Differenzen der Fahrten „Rechts“ – „Links“ ermittelt und in Tabelle 7-5 gegenübergestellt. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass es keinen Unterschied macht, ob eine Kurve rechts- oder linksrum befahren wird, die Differenzen sollten Null sein. Wie aber zu sehen ist, macht es beim GripTester MK1 sehr wohl einen Unterschied, die mittlere Differenz aller Messungen betrug hier $\Delta\mu_{GT,Re\text{-}Li}$ = -0,24. Für die Baureihe MK2 betrug die mittlere Differenz erwartungsgemäß $\Delta\mu_{GT,Re\text{-}Li}$ = ±0,00.

Tabelle 7-4: Reibungsbeiwerte Rechts- und Linkskurve

Reibungsbeiwert μ_{GT}		R = 30 m						R = 40 m					
		20 km/h		30 km/h		40 km/h*		20 km/h		30 km/h		40 km/h*	
Baureihe	**GripTester**	**Re**	**Li**	**Re**	**Li**	**Re**	**Li**	**Re**	**Li**	**Re**	**Li**	**Re**	**Li**
MK1	GT 082	0,61	0,83	0,58	0,89	-	-	0,66	0,83	0,61	0,87	*0,54*	*0,78*
	GT 095	0,61	0,73	0,57	0,80	-	-	0,64	0,76	0,61	0,79	*0,55*	*0,82*
	GT 135	0,59	0,78	0,55	0,82	-	-	0,62	0,79	0,59	0,83	*0,53*	*0,89*
	GT 213	0,61	0,83	0,56	0,89	-	-	0,65	0,85	0,60	0,89	*0,55*	*1,02*
	Mittelwert	0,61	0,79	0,57	0,85			0,64	0,81	0,60	0,85	0,54	0,88
MK2	GT 389	0,68	0,66	0,61	0,62	-	-	0,68	0,69	0,62	0,64	*0,57*	*0,51*
	GT 395	0,65	0,64	0,61	0,63	*0,57*	*0,60*	0,66	0,64	0,64	0,59	*0,60*	*0,54*
	GT 396	0,61	0,62	0,59	0,61	-	-	0,63	0,65	0,62	0,62	*0,55*	*0,59*
	Mittelwert	0,65	0,64	0,60	0,62	0,57	0,60	0,66	0,66	0,63	0,62	0,57	0,55

*) keine brauchbaren Messungen bei dieser Geschwindigkeit möglich

Tabelle 7-5: Differenz der Reibungsbeiwerte Rechts- und Linkskurve

Differenz der Reibungsbeiwerte ($\Delta\mu_{GT,Re\text{-}Li}$)		R = 30 m			R = 40 m		
		20 km/h	30 km/h	40 km/h	20 km/h	30 km/h	40 km/h
Baureihe	**GripTester**						
MK1	GT 082	-0,22	-0,31	-	-0,17	-0,26	*-0,24*
	GT 095	-0,12	-0,23	-	-0,12	-0,18	*-0,27*
	GT 135	-0,19	-0,27	-	-0,17	-0,24	*-0,36*
	GT 213	-0,22	-0,33	-	-0,20	-0,29	*-0,47*
	Mittelwert	-0,19	-0,29		-0,17	-0,24	-0,34
MK2	GT 389	0,02	-0,01	-	-0,01	-0,02	*0,06*
	GT 395	0,01	-0,02	*-0,03*	0,02	0,05	*0,06*
	GT 396	-0,01	-0,02	-	-0,02	0,00	*-0,04*
	Mittelwert	0,01	-0,02	-0,03	0,00	0,01	0,03

In Abbildung 7-14 ist die Trendlinie des Kurvenverhaltens für die verschiedenen Messgeschwindigkeiten dargestellt. Für die Baureihe MK1 ist deutlich folgender Trend ersichtlich: je größer die Geschwindigkeit desto größer ist die Differenz der Reibungsbeiwerte zwischen Rechts- und Linksfahrt. Bei der Baureihe

MK2 pendelt sich die Trendlinie um die Nullachse (rote strichlierte Linie) ein. Der Vergleich der Baureihe MK1 und MK2 zeigt auch, dass bei der Rechtskurve beide Modelle annähern auf dem gleichen Niveau messen (siehe Tabelle 7-4), die mittlere Differenz betrug lediglich $\Delta\mu_{GT,MK1-MK2}$ = -0,03. Aber bei der Linkskurve lieferte der MK1 im Mittel um $\Delta\mu_{GT,MK1-MK2}$ = +0,22 höhere Reibungsbeiwerte als der MK2.

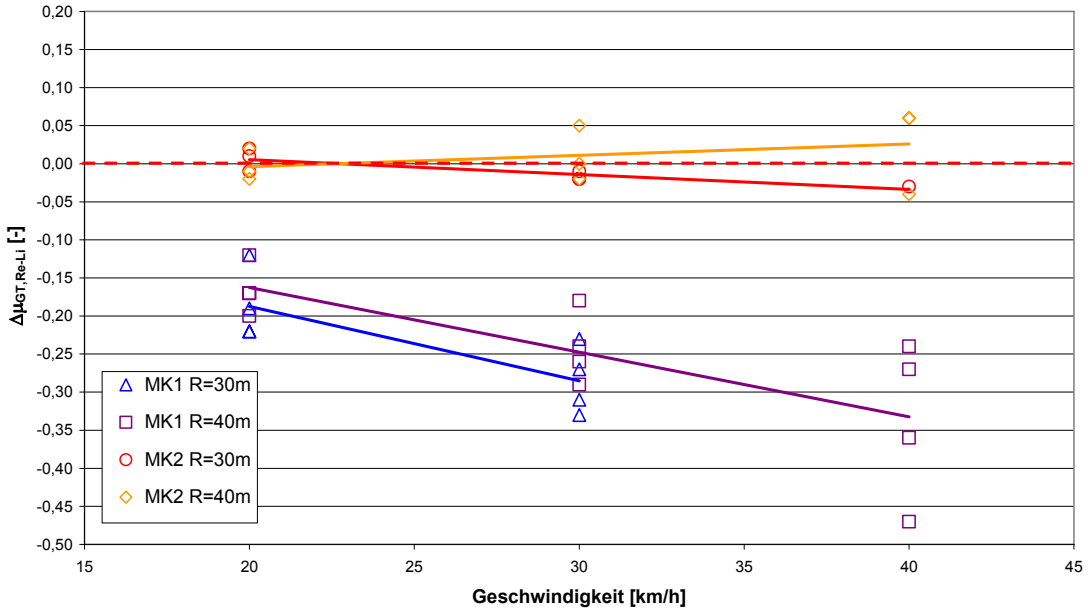


Abbildung 7-14: Differenz der Reibungsbeiwerte bei Rechts- und Linkskurve bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Kurvenradien

Beim Versuch einer Korrelation der Reibungsbeiwerte von Rechts- und Linkskurven für MK1 und MK2 in Abbildung 7-15 konnte trotz weniger Daten gut gezeigt werden, dass die paarweisen Abszissen- und Ordinatenwerte beim GripTester MK2 nahe der Ausgleichsgeraden y = x (rote strichlierte Linie) liegen und jene des MK1 deutlich davon abweichen.

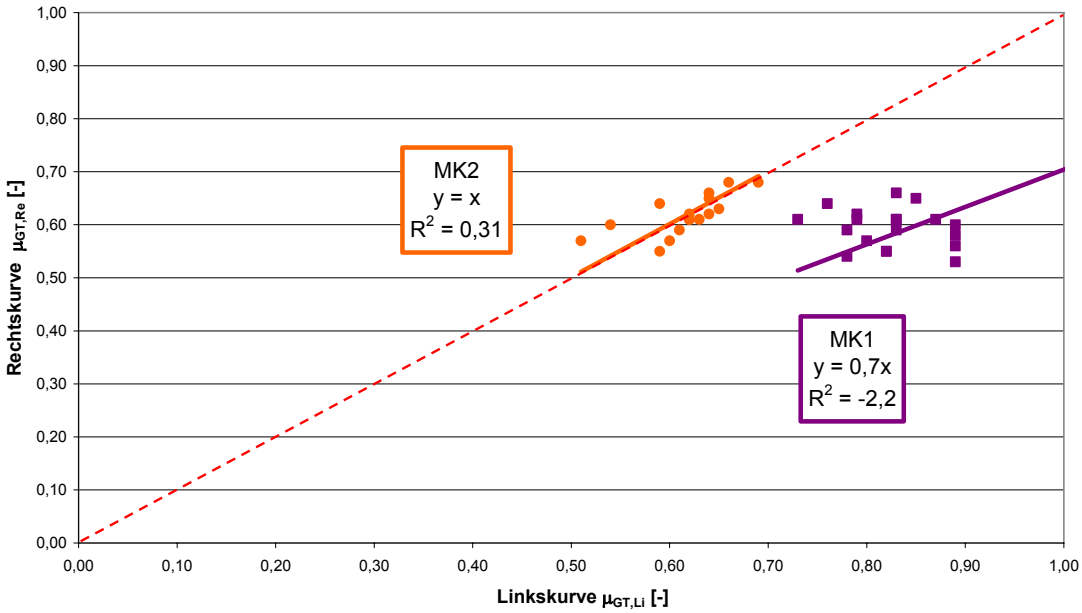


Abbildung 7-15: Korrelation der Reibungsbeiwerte von MK1 und MK2 bei Rechts- und Linkskurve

7.4.3 Kurvenverhalten MK1 im Schiebebetrieb

Die Auswertung der zwei Messungen im Schiebebetrieb mit dem GripTester MK1 über die gesamte Messstreckenlänge ergab, dass auch bei einer sehr langsamen Messgeschwindigkeit unterschiedliche Reibungsbeiwerte bei einer Rechts- und Linkskurve gemessen wurden (siehe Abbildung 7-16). Die mittlere Differenz betrug hier $\Delta\mu_{GT,Re\text{-}Li}$ = -0,16 und lag somit nahe den Ergebnissen bei 20 km/h.

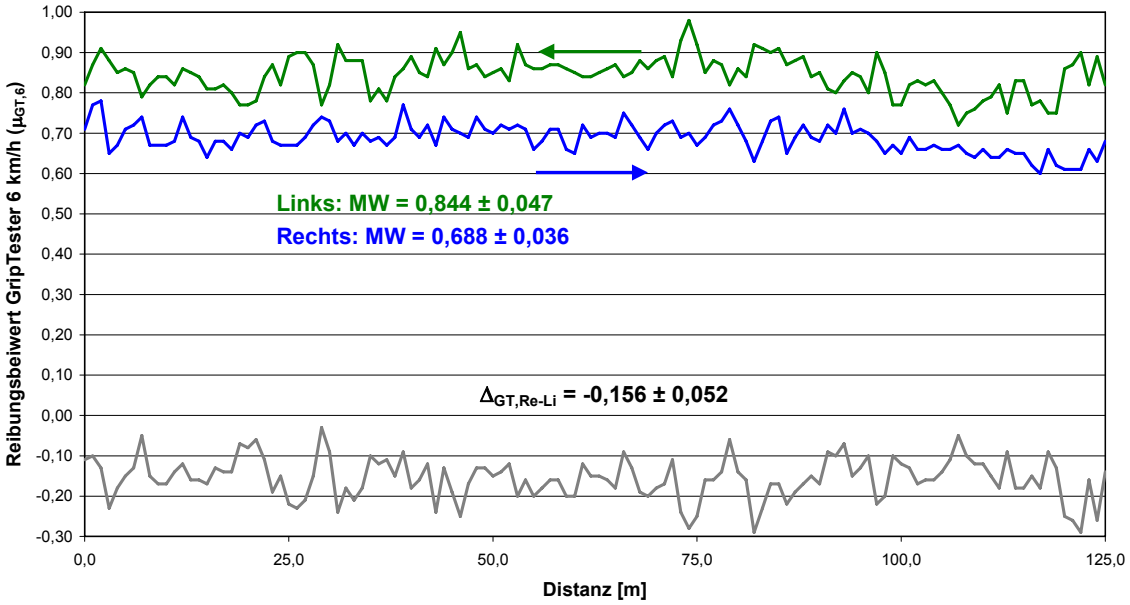


Abbildung 7-16: Reibungsbeiwerte im Schiebebetrieb mit MK1 bei Rechts- und Linkskurve R = 40 m

7.4.4 Untersuchungen der TU Bochum zum Kurvenverhalten

Ergänzend zu den Messungen im Opel Testzentrum, führte die TU Bochum auch noch Messungen mit einem GripTester MK2 auf dem Gelände der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durch. Hierbei wurden die Radien 20, 30 und 40 m mit den drei Geschwindigkeiten 20, 30 und 40 km/h überprüft. Der Vergleich der Reibungsbeiwerte (jeweils die Mittelwerte zweier Messungen) von Rechts- und Linkskurven des GripTesters MK2 in Abbildung 7-17 zeigt eine sehr gute Korrelation mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 = 0,97. Kein Wertepaar hatte eine größere Differenz als $\Delta\mu_{GT,Re\text{-}Li} \leq 0{,}02$ [44].

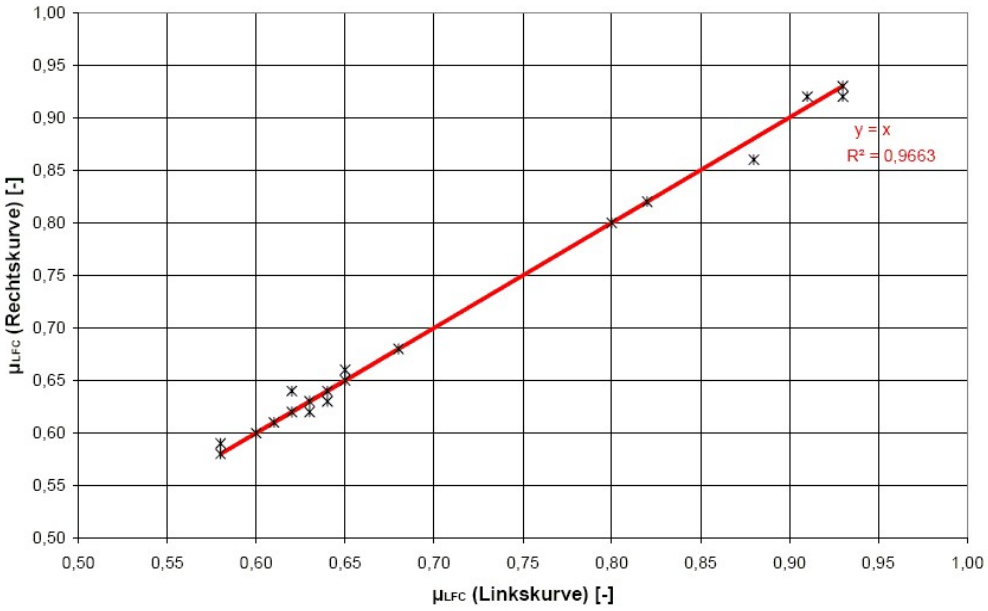


Abbildung 7-17: Gegenüberstellung der Reibungsbeiwerte des MK2 in Rechts- und Linkskurven bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Kurvenradien [44]

7.4.5 Zusammenfassende Beurteilung des Kurvenverhaltens

Die Untersuchungen zeigten, dass das ursprünglich vorhandene Problem der Kurvenmessung mit dem neuen GripTester MK2 geregelt wurde, da hier kaum nennenswerte Differenzen zwischen den Reibungsbeiwerten bei Rechts- und Linkskurve vorhanden waren. Das Kurvenproblem beim GripTester MK1 kann auf ein Linkskurvenproblem reduziert werden, da hier die größten Abweichungen zum MK2 auftraten. Grund dafür ist die eventuelle Schiefstellung der Messachse im Zuge der Kalibrierung durch Findlay Irvine bei den Ringversuchen. Weiters zeigte sich, dass der GripTester MK1 auch bei Schrittgeschwindigkeit (ca. 6 km/h) ein Kurvenproblem aufweist. Dies liegt an dem permanenten Seitendruck, den die Messperson aufbringen muss, um den GripTester durch die Kurve zu schieben.

Für die Zukunft ist dieses Problem aber gelöst, da keine GripTester der Baureihe MK1 mehr produziert werden. Falls alte Modelle der Baureihe MK1 doch noch zum Einsatz kommen, muss bei kurvenreichen Messstrecken diese Problematik jedoch berücksichtigt werden. Allerdings konnte mangels ausreichender Grundlagendaten noch nicht festgelegt werden, ab welchem minimalen Radius, vor allem bei Linkskurven, dieser Effekt zu vernachlässigen ist.

7.5 Qualitätssicherung

Um die Funktionstauglichkeit des Messsystems GripTester und die Reproduzierbarkeit der gemessenen Reibungsbeiwerte zu gewährleisten, sind die Anforderungen der Qualitätssicherung gemäß RVS 11.06.71 [7] einzuhalten (siehe auch Kapitel 5.5). Eine dieser Anforderungen, welche vom Messsystem RoadSTAR

übernommen wurde, legt monatliche Referenzmessungen auf einer 2 km langen Referenzstrecke fest. Im Zuge dieser Arbeit wird gezeigt, dass diese Anforderungen auch bei größeren Zeitdifferenzen eingehalten werden können.

Um auch den Einfluss der Abnutzung des Messreifens beurteilen bzw. ausschließen zu können, wurden die Referenzmessungen mit zwei verschiedenen Messreifen durchgeführt (siehe Abbildung 7-18). Im Mai 2005 wurden zwei Messreifen aus gleicher Charge angeschafft. Der Messreifen Nr. A37-05520 wurde zwei Jahre lang vorschriftsmäßig gelagert und nur für die Referenzmessungen verwendet. Für die Durchführung aller anderen Messungen wurde nur der Messreifen A37-05519 eingesetzt. Dadurch soll eine Vergleichsmöglichkeit zwischen einem „ungebrauchten“ und einem „gebrauchten“ Messreifen geschaffen werden.

Abbildung 7-18: Messreifen A37-05519 und A37-05520 für Referenzmessungen

Weiters wurde im August 2006 eine Wartung des GripTesters GT135 bei der Firma Mechatronic AG durchgeführt. Gemäß Wartungsprotokoll konnten keine Mängel am Gerät festgestellt werden. Es erfolgten auch Vergleichsmessungen mit einem deutschen Referenzgerät, um eventuelle systematische Abweichungen feststellen zu können. Falls Abweichungen zum Referenzgerät auftreten, wird eine Gerätekorrektur ermittelt und im Kalibrierzertifikat angegeben. Gemäß dem Kalibrierzertifikat (siehe Abbildung 7-19) wurde eine Gerätekorrektur für den österreichischen GripTester GT135 von $\mu_{GT,k} = 1{,}015 * \mu_{GT} - 0{,}006$ ermittelt. Aufgrund dieser Korrekturformel ergibt sich im Bereich von $0{,}07 \leq \mu_{GT} \leq 0{,}73$ keine Änderung der Reibungsbeiwerte ($\mu_{GT,k} = \mu_{GT}$). Ab $\mu_{GT} \geq 0{,}74$ ergibt sich eine Erhöhung von $\mu_{GT,k} = \mu_{GT} + 0{,}01$ und bei $\mu_{GT} \leq 0{,}06$ eine Verringerung von $\mu_{GT,k} = \mu_{GT} - 0{,}01$. Anhand dieser Ergebnisse wurde bestätigt, dass der GripTester GT135 keine nennenswerten Abweichungen zum Referenzgerät aufweist und korrekte Ergebnisse liefert.

Mechatronic traffic
engineering, software, services

Kalibrierzertifikat

Für GT-Nr. 135

Betreiber: Technische Universität Wien, AP: Dipl. Ing. Eigl

letzte Wartung: Aug 2006 **letzte Kalibrierung:** Jun 2004

Referenz-GT: 082 **Betreiber:** Baustoff-u. Bodenprüfstelle Darmstadt

Referenz-Messreifen Nr.: A40.02604 (14.02.2006)

Kalibrierstrecken:

1. B42/hin - V60 und V40 - 04.08.2006
2. S/L-Bahn Airbase Grisheim - V60 und V40 - 07.08.2006
3. ---

Korrekturfaktor (Zutreffendes bitte ankreuzen)

☒ Gerätekorrektur μ_{GT} *=1,015 x - 0,006*

☐ ~~Reifenkorrektur Δ_R = 0,0000~~

Besonderheiten: Die Gerätekorrektur wurde im Zuge der zeitbefristeten Betriebszulassung gemäß Arbeitanleitung LFCG durchgeführt. Da diese Zulassung in dieser Form so das erste Mal statt fand und noch in der Erprobungsphase ist, ist der Gerätekorrekturfaktor kritisch zu betrachten.

Kalibrierung gültig bis: August 2007

08.09.2006, ...

Unterschrift

Bearbeiter: VS

Seite 1/1
200608_ZeitbefristeteZulassung_GT135.doc

Abbildung 7-19: Kalibrierzertifikat GT 135, August 2006

7.5.1 Messprogramm

Die Referenzmessungen mit dem GripTester wurden auf den gleichen Strecken durchgeführt, auf denen auch der RoadSTAR seine monatlichen Referenzmessungen ausführt. Leider stand die ursprüngliche Referenzstrecke wegen Umbauarbeiten nicht lange zur Verfügung, weshalb eine neue Referenzstrecke von arsenal research festgelegt werden musste, die aber bis zum gegenständlichen Zeitpunkt von beiden Griffigkeitsmesssystemen genutzt wird. Die Referenzstrecken bestehen immer aus zwei 2 km langen Abschnitten die unmittelbar hintereinander angeordnet sind und zwei verschiedene Deckschichten und Griffigkeitsniveaus aufweisen. Das Messprogramm enthielt insgesamt folgende drei Deckschichttypen:

- 2x Waschbeton
- 2x Splittmastixasphalt (SMA)
- 1x Bituminöse Tragdeckschicht (BTD)

Auf jeder Messstrecke wurden zuerst mit dem „gebrauchten“ Messreifen (R1) eine Messung zum Einfahren und Vorreinigen und danach zwei weitere Messungen mit der Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h durchgeführt. Danach folgten drei Messungen mit dem „ungebrauchten“ Messreifen (R2).

7.5.2 Referenzmessungen

Bei der Auswertung wurden die 50-m-Mittelwerte aus der 2. und 3. Messung je Messreifen und Messstrecke gebildet, da die Wiederholgenauigkeiten jeweils eingehalten wurden (siehe Tabelle 6-25, Seite 123). Anschließend wurden die Ergebnisse den Ergebnissen der vorangegangenen Referenzmessung gegenübergestellt (siehe Beispiele Abbildung 7-20 und Abbildung 7-21). Daraus wurden die Differenz der Mittelwerte (ΔMW) und die doppelte Standardabweichung der Differenzen (2σ) der 50-m-Einzelwerte der zwei Referenzmessungen je Messreifen berechnet (siehe Tabelle 7-6).

Trotz der sehr großen Zeitdifferenzen von 3, 8 und 10 Monaten zwischen den Referenzmessungen konnten die Grenzwerte gemäß RVS 11.06.71 von $\Delta MW \leq 0{,}05$ und $2\sigma \leq 0{,}10$ eingehalten werden (siehe Tabelle 5-4, Seite 87). Durch die Referenzmessungen mit einem zweiten „ungebrauchten“ Messreifen konnte interessanterweise festgestellt werden, dass das Griffigkeitsniveau innerhalb eines Jahres (August 2006 bis September 2007) beim neuen Waschbeton Nr. 43 um ca. $\mu_{GT} = -0{,}04$ gesunken ist während der anschließende SMA Nr. 10 aber gleich blieb. Die Messergebnisse des gebrauchten Messreifens zeigten aber in diesem Zeitraum eine Griffigkeitsverminderung für beide Deckschichten, auf dem Waschbeton Nr. 43 von ca. $\Delta\mu_{GT} = -0{,}08$ und auf dem SMA Nr. 10 von ca. $\Delta\mu_{GT} = -0{,}03$ (siehe Tabelle 7-6). Hier hatte wohl der Gebrauchszustand des Reifens einen Einfluss.

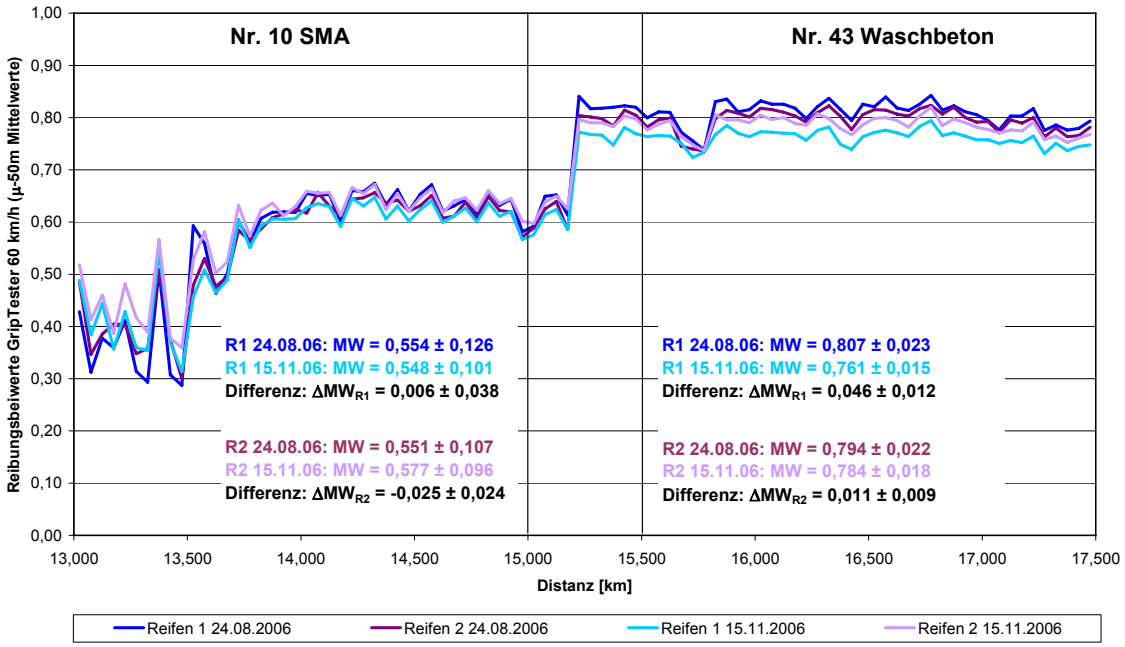


Abbildung 7-20: Referenzmessungen Messstrecken Nr. 10 und Nr. 43 im August 2006 und November 2006 (Zeitdifferenz 3 Monate)

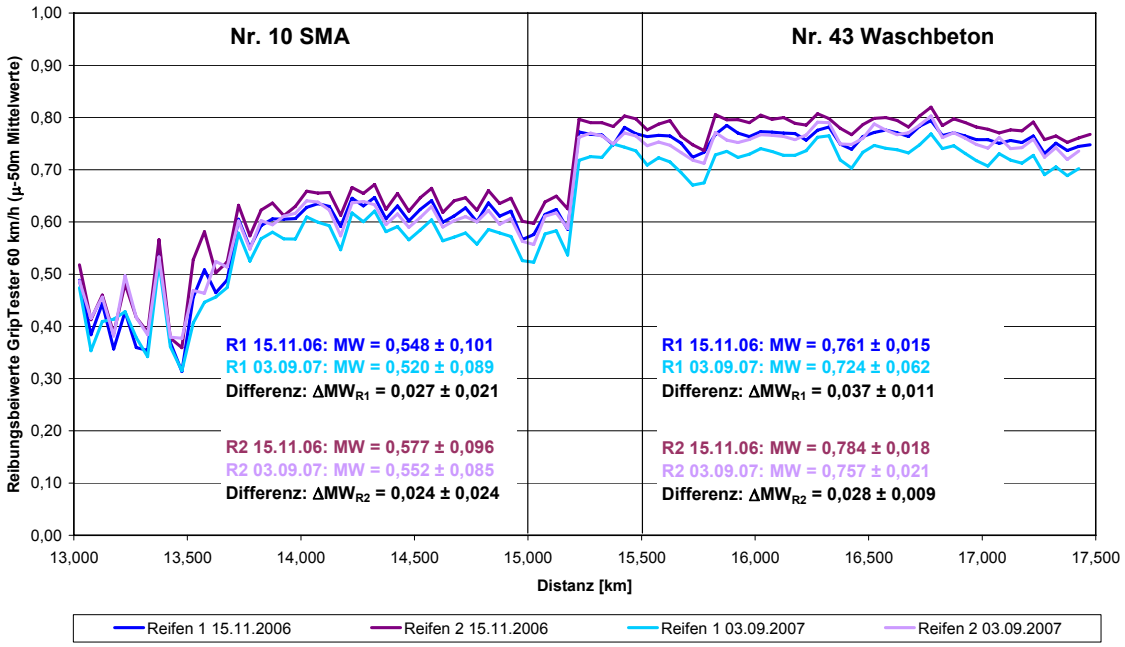


Abbildung 7-21: Referenzmessungen Messstrecken Nr. 10 und Nr. 43 im November 2006 und September 2007 (Zeitdifferenz 10 Monate)

Tabelle 7-6: Referenzmessungen GripTester GT 135

Nr	Deckschicht	Datum	Messreifen R1 (A37-05519)			Messreifen R2 (A37-05520)		
			MW_{R1}	ΔMW_{R1}	$2\sigma_{R1}$	MW_{R2}	ΔMW_{R2}	$2\sigma_{R2}$
42a	Waschbeton	15.07.2005	0,42	**-0,011**	**0,054**	0,41	**-0,021**	**0,045**
42b		14.10.2005	0,44			0,43		
42c		13.06.2006	0,40	**0,035**	**0,039**	0,42	**0,006**	**0,022**
26	BTD	15.07.2005	0,25	-	-	0,25	-	-
8a	SMA	14.10.2005	0,56	**-0,013**	**0,102**	0,53	**-0,046**	**0,097**
8b		13.06.2006	0,57			0,58		
10a	SMA	24.08.2006	0,55	**0,006**	**0,076**	0,55	**-0,025**	**0,048**
10b		15.11.2006	0,55			0,58		
10c		03.09.2007	0,52	**0,027**	**0,042**	0,55	**0,024**	**0,048**
43a	Waschbeton	24.08.2006	0,81	**0,046**	**0,024**	0,79	**0,011**	**0,018**
43b		15.11.2006	0,76			0,78		
43c		03.09.2007	0,72	**0,037**	**0,022**	0,76	**0,028**	**0,019**

7.5.3 Reifenvergleichsmessungen

Mit dem Messreifen A37-05519 (R1) wurden im Zeitraum Juli 2005 bis Oktober 2007 ca. 550 km gemessen, der Messreifen A37-05520 (R2) wies am Ende eine Laufleistung von ca. 100 km auf. Die Reifenkontrollbohrungen beider Messreifen betrugen danach noch immer mehr als 4 mm (zulässig ≥ 3 mm). Für die Auswertung wurden die 50-m-Mittelwerte aus der 2. und 3. Messung je Messreifen und Messstrecke gebildet und miteinander verglichen. In Tabelle 7-7 wurden die Differenzen der Mittelwerte (ΔMW_{R1-R2}) und die doppelten Standardabweichungen der Differenzen ($2\sigma_{R1-R2}$) der 50-m-Einzelwerte berechnet und nach Reifenalter bzw. Laufleistung sortiert.

Die Differenzen der Reibungsbeiwerte samt doppelten Standardabweichungen zwischen den beiden Messreifen lagen je Messstrecke betrachtet innerhalb der Messgenauigkeit des GripTesters (siehe Tabelle 6-28, Seite 127). Betrachtet man alle Daten zusammen, erhält man eine mittlere Abweichung der 480 50-m-Mittelwerte von ΔMW_{R1-R2} = -0,01 mit einer doppelten Standardabeichung von $2\sigma_{R1-R2}$ = 0,055. Dies bestätigte, dass während der Messungen im Rahmen dieser Arbeit zwischen dem gebrauchten und dem ungebrauchten Messreifen keine signifikanten Abweichungen vorhanden waren. Allerdings konnte nach 18 Monaten (Laufleistungsdifferenz ca. 400 km) ein leichter Abfall des Messniveaus des gebrauchten Reifens R1 von ca. μ_{GT} = -0,03 beobachtet werden.

Tabelle 7-7: Reifenvergleich

Nr	Reifen-alter	Laufleistung		MW_{R1}	MW_{R2}	ΔMW_{R1-R2}	$2\sigma_{R1-R2}$
		R1	R2				
42a	2 Monate	0 km	0 km	0,42	0,41	**0,018**	**0,042**
26				0,25	0,25	**0,007**	**0,017**
42b	5 Monate	300 km	15 km	0,44	0,43	**0,009**	**0,039**
8a				0,56	0,53	**0,024**	**0,046**
42c	13 Monate	320 km	30 km	0,40	0,42	**-0,021**	**0,030**
8b				0,57	0,58	**-0,010**	**0,067**
10a	15 Monate	340 km	45 km	0,55	0,55	**0,003**	**0,061**
43a				0,81	0,79	**0,013**	**0,013**
10b	18 Monate	480 km	70 km	0,55	0,58	**-0,029**	**0,028**
43b				0,76	0,78	**-0,023**	**0,013**
10c	28 Monate	520 km	85 km	0,52	0,55	**-0,032**	**0,037**
43c				0,72	0,76	**-0,032**	**0,012**

7.5.4 Zusammenfassende Beurteilung der Messungen zur Qualitätssicherung

Die in der RVS 11.06.71 festgelegten Grenzwerte für die monatlichen Referenzmessungen konnten mit dem Messsystem GripTester auch bei viel größeren Zeitspannen (3 bis 10 Monate) gut eingehalten werden. Um aber beurteilen zu können, ob sich der Messreifen oder die Messstrecke zwischen zwei Referenzmessungen verändert hat, wird empfohlen, zusätzlich einen ungebrauchten Messreifen mitzutesten. Dadurch konnte festgestellt werden, dass sich nicht nur das Griffigkeitsniveau der Messstrecken verändert hatte, sondern der Unterschied auch auf die Abnutzung des Messreifens zurückzuführen war. Anhand der Reifenvergleichsmessungen konnte nachgewiesen werden, dass sich durch den Gebrauch des Messreifens das Niveau der Reibungsbeiwerte innerhalb von eineinhalb Jahren nicht systematisch veränderte. Allerdings zeigte sich, dass eine Nutzungsdauer von über zwei Jahren bzw. eine Laufleistung von über 500 km vermieden werden sollte, da dann Differenzen von ca. -0,03 zwischen dem gebrauchten und dem ungebrauchten Reifen auftraten.

8 Harmonisierung von Griffigkeitsmesssystemen

8.1 Allgemeines

Weltweit sind die unterschiedlichsten Griffigkeitsmesssysteme im Einsatz. Viele Länder haben ihre eigenen Verfahren entwickelt, andere haben erprobte Messsysteme übernommen und eventuell noch modifiziert. Gerade in Europa sind aufgrund der hohen Länderdichte sehr viele verschiedene Messsysteme in Verwendung, deren Messergebnisse sich leider nicht direkt miteinander vergleichen lassen. Aufgrund der EU-weiten Ausschreibungsmöglichkeit von Leistungen wäre aber ein einheitliches Messsystem sehr praktikabel, welches alle Länder verwenden. Aber kaum ein Land will von seinen traditionellen Verfahren abweichen. Einerseits sind die Gerätehersteller davon schwer zu überzeugen, andererseits will man nicht auf die gesammelte Daten- und Erfahrungsgrundlage verzichten, auf der alle aktuellen Richtlinien, Grenzwerte und Erhaltungsmanagementsysteme basieren.

Deshalb wird eine Harmonisierung der Griffigkeitsmesssysteme angestrebt, bei der Verfahren entwickelt werden, die es ermöglichen, dass die Ergebnisse aller Messsysteme auf einen einheitlichen Bezugswert transformiert werden können. Die Notwendigkeit für die Harmonisierung ist wichtig, um einerseits die Anforderungen an die Straßenbaustoffe im europäischen Raum normieren zu können und andererseits, um ein grenzübergreifendes Erhaltungsmanagement zu ermöglichen. Der daraus entstehende Nutzen lässt sich unter folgenden Punkten zusammenfassen [123]:

- Internationale Norm für Straßen- und Flugplatzbetreiber, die angewendet werden kann, ohne die aktuellen Griffigkeitsmessverfahren ändern zu müssen.
- Gesammelte Daten und Erfahrungen können weiterhin verwendet werden.
- Griffigkeitsmessergebnisse verschiedener Länder können auf denselben Bewertungshintergrund bezogen werden und länderspezifische Grenzwerte können ausgetauscht werden.
- Materiallieferanten können durch standardisierte Daten den Vertrieb auf andere Länder ausweiten.
- Örtliche Richtlinien zur Griffigkeitsmessung können auch im Ausland angewendet werden und umgekehrt.
- Der Markt für Messgerätehersteller würde sich erweitern.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die wesentlichsten Versuche zur Harmonisierung von Griffigkeitsmesssystemen zusammengefasst, an denen auch der GripTester beteiligt war. Speziell werden dabei die Ergebnisse, die den GripTester betreffen, analysiert.

8.2 PIARC Ringversuch 1992

Im Jahr 1992 wurde von der Permanent International Association of Road Congresses (PIARC) ein Ringversuch durchgeführt, der einen Vergleich der weltweit vorhandenen Griffigkeitsmessverfahren und eine internationale Harmonisierung der Messergebnisse ermöglichen sollte [123]. Gleichzeitig wurden im Rahmen dieses Ringversuches auch die aktuellen Texturmessverfahren miteinander verglichen und Texturwerte mit Reibungsbeiwerten in Beziehung gebracht. Insgesamt nahmen 17 Länder an diesem internationalen Versuch teil: USA, Kanada, Japan, Großbritannien, Schottland, Frankreich, Belgien, Niederlande, Norwegen, Schweden, Dänemark, Polen, Deutschland, Österreich, Schweiz, Spanien und Italien. Jedes Land sollte ein repräsentatives Griffigkeits- und Texturmesssystem zur Verfügung stellen, aber einige Länder schickten sogar mehrere Messsysteme.

Der PIARC Ringversuch ist eine interessante Grundlage für das Kapitel 9 dieser Arbeit, da hier schon die beiden Griffigkeitsmesssysteme GripTester und der österreichische SRM (heute RoadSTAR) beteiligt waren.

8.2.1 Teilnehmende Griffigkeitsmesssysteme

Bei diesem Ringversuch waren die wichtigsten dynamischen Griffigkeitsmesssysteme und auch zwei stationäre Pendelsysteme vertreten. Die 27 teilnehmenden Messsysteme konnten in folgende sieben Gruppen eingeteilt werden, wobei manche in mehreren Gruppen vertreten waren [123]:

- Blockiertes Messrad (2x SRM, Skiddometer, ASTM E-274 Trailer, Skid Resistance Tester, DF Tester, ADHERA)
- Konstanter Schlupf (2x SRM, 2x Skiddometer, Norsemeter Oscar, Komatsu Skid Tester, DWW Trailer, Dagmar Petra Trailer, GripTester)
- Variabler Schlupf (Norsemeter Oscar)
- Optimaler Schlupf bzw. ABS (2x SRM)
- Maximale Reibung bzw. PEAK (Norsemeter Oscar, ASTM E-274 Trailer, Skid Resistance Tester, Dagmar Petra Trailer)
- Seitenkraft (MuMeter, Stradograph, 2x Odoliograph, 8x SCRIM)
- Pendel (2x British Pendulum – SRT)

Zusätzlich wurden auch 14 Texturmesssysteme eingesetzt, welche die Makrotextur erfassen. Da diese Messsysteme aber die unterschiedlichsten Parameter lieferten, wurde als Referenzmethode das Sandfleckverfahren mit Glaskugeln herangezogen. Das heißt nicht, dass dieses Verfahren das Beste ist, sondern gewählt wurde, weil es schon lange in Gebrauch ist und sich gut bewährt hat. Weiters konnten auch nicht alle Messsysteme auf jeder Strecke eingesetzt werden.

8.2.2 Messstreckenauswahl

Insgesamt wurden für diesen Ringversuch 26 Messstrecken in Spanien (trockenes Klima) und 28 Messstrecken in Belgien (feuchtes Klima) ausgesucht, von denen 40 auf dem öffentlichen Straßennetz, 10 auf Flughäfen und 4 auf einer Rennstrecke waren. Die Streckenlänge betrug jeweils 150 m und wurde in zwei 75 m Abschnitte unterteilt, womit insgesamt 108 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 8,1 km für die Vergleichsmessungen zur Verfügung standen. Aufgrund des dichten Zeitplanes konnten nicht alle Messsysteme auf allen Messstrecken Messungen durchführen, allerdings sollten in jedem Land ungefähr 20 Strecken gemessen werden [123].

8.2.3 Messdurchführung

Jedes Griffigkeitsmesssystem führte, wenn möglich, Messungen mit den drei Geschwindigkeiten 30, 60 und 90 km/h durch. Die der Standardmessgeschwindigkeit des Messsystems am nächsten kommende Geschwindigkeit wurde dabei durch diese ersetzt. Auf jeder Messtrecke wurden mit jeder Geschwindigkeit zwei Wiederholungsmessungen durchgeführt, womit insgesamt 3 x 2 x 2 = 12 75-m-Mittelwerte ermittelt werden konnten. Generell sollten die Messungen immer in der rechten Rollspur des am weitesten rechts liegenden Fahrstreifens durchgeführt werden, mit Ausnahme von wenigen Strecken, wo die linke Rollspur gewählt wurde.

Der GripTester aus England führte die Messungen mit den Geschwindigkeiten 5, 30, 65 und 90 km/h und einem Messreifenschlupf von 15 % aus. Der österreichische SRM (heute als RoadSTAR bekannt) fuhr mit den Geschwindigkeiten 30, 60 und 90 km/h und den drei Schlupfzuständen optimal, 20 % und 100 %.

8.2.4 Auswertung PIARC Ringversuch

Für die Auswertung wurden die Griffigkeitsmesssysteme in drei Hauptgruppen eingeteilt und innerhalb der Gruppen noch nach dem Messreifentyp glatt oder profiliert unterteilt [123]:

- Blockiertes Messrad (glatt, profiliert)
- Konstanter Schlupf (glatt, profiliert)
- Seitenkraft (glatt)

Da es nur ein System mit variablen Schlupf gab wurde dieses der Gruppe „blockiertes Messrad“ zugeordnet. Weites konnten sechs Messgeräte auch die maximale Reibung messen (optimaler Schlupf mit ABS), diese wurden allerdings getrennt untersucht, da hier keine Messung auf dieselbe Art durchgeführt wurde.

Zuerst erfolgten die Vergleiche der einzelnen Geräte innerhalb der jeweiligen Hauptgruppen. Danach wurden die Hauptgruppen miteinander verglichen und zum Schluss den maximalen Reibungsmesssystemen und den Pendeln gegenübergestellt. Die Vergleiche erfolgten durch lineare Regressionen der

Abschnittsmittelwerte und Angabe der Korrelationskoeffizienten R bzw. des Bestimmtheitsmaßes R² über alle Messgeschwindigkeiten und nur für die mittlere Geschwindigkeit von 60 km/h. Bei Berücksichtigung aller Geschwindigkeiten wird allgemein eine leichte Verbesserung der Korrelation erzielt, da hier mehr Daten zur Verfügung standen. Aber für die endgültige Auswertung wurde nur die mittlere der drei Geschwindigkeiten herangezogen, da die beiden anderen Geschwindigkeiten normalerweise bei Messungen nicht eingesetzt werden und im Rahmen dieses Versuches nur dazu dienten, die Beziehung zwischen Griffigkeit und Geschwindigkeit festzustellen.

In der Tabelle 8-1 sind die Mittelwerte der Korrelationen (Bestimmtheitsmaße R²) aller Griffigkeitsmesssysteme zusammengefasst und zusätzlich speziell für den GripTester und den österreichischen SRM angegeben. Insgesamt waren die Korrelationen gut, der Mittelwert bei ähnlichen Messsystemen lag bei R² = 0,72 und bei unterschiedlichen Messsystemen bei R² = 0,64. Die Korrelationen zu den Pendelsystemen war für alle drei Hauptgruppen nicht zufriedenstellend, ebenso zeigten sich auch keine klaren Tendenzen beim Vergleich mit den Maximalreibungsmesssystemen. Anzumerken ist allerdings, dass nach dem Ausscheiden einiger Messstrecken für die Regressionsanalysen eine sehr unterschiedliche Anzahl an Vergleichsabschnitten (5 bis 98) je nach Messsystempaarung zugrunde lag.

Tabelle 8-1: Korrelationen R² der Griffigkeitsmesssysteme bei mittlerer Messgeschwindigkeit

Griffigkeitsmesssystem	Blockiertes Rad	Konstanter Schlupf	Seitenkraft	Maximale Reibung	Pendel
Blockiertes Rad	**0,71**	0,61	0,63	0,61	0,45
Konstanter Schlupf	0,61	**0,70**	0,67	0,62	0,54
Seitenkraft	0,63	0,67	**0,74**	0,56	0,44
GripTester	0,69	0,77	0,74	0,67	0,45
SRM	0,64	0,74	0,71	0,59	0,47

Der GripTester korrelierte mit den Geräten innerhalb der Hauptgruppe und den anderen beiden Hauptgruppen ebenfalls gut, da das Bestimmtheitsmaß nahe und über den Gesamtmittelwerten lag. Beim direkten Vergleich von GripTester und österreichischem SRM konnte mit einer linearen Regression ein Bestimmtheitsmaß von R² = 0,71 erreicht werden, welches ebenfalls knapp über dem Hauptgruppenmittelwert lag.

Der Ringversuch zeigte, dass die Ableitung einer Beziehung zwischen den unterschiedlichen Griffigkeitsmessverfahren ohne Berücksichtigung zusätzlicher Komponenten nicht gut möglich war. Durch eine Weiterentwicklung des Pennsylvania State Modells [124] welches die Reibung zur Schlupfgeschwindigkeit in Beziehung setzt und mit Einbeziehung der Textur der Fahrbahnoberfläche konnte ein internationaler Reibungsindex (International Friction Index – IFI) ermittelt werden, der eine bessere Korrelation zwischen den verschiedenen Messverfahren ermöglichte.

Die notwendigen Eingangsgrößen zur Bestimmung des IFI sind der Reibungsbeiwert (gemessen bei beliebiger Geschwindigkeit), die Textur (z.B. MPD) und die Schlupfgeschwindigkeit. Im Zuge des PIARC-Ringversuches wurden aus linearen Regressionsbeziehungen Kalibrierkonstanten für sämtliche am Versuch beteiligten Griffigkeits- und Texturmessgeräte abgeleitet. Bei der Ermittlung des IFI wird der Schätzwert der „wahren" Griffigkeit (F60) aus den Ergebnissen einer Griffigkeitsmessung und einer Texturmessung nach Formel 8-1 berechnet [123]:

$$F60 = A + B \times FR_S \times e^{\frac{(S-60)}{a+b\times Tx}} + C \times Tx \qquad \textbf{Formel 8-1}$$

F60	Schätzwert für den „wahren" Griffigkeitsbeiwert bei Gleitgeschwindigkeit von 60 km/h
A, B	Kalibrierkonstanten eines Griffigkeitsmesssystems
FR_s	Reibungsbeiwert eines Griffigkeitsmesssystems bei einer Schlupfgeschwindigkeit S
S	Schlupfgeschwindigkeit
C	Kalibrierkonstante für den Messreifen (glatt, profiliert)
a, b	Kalibrierkonstanten eines Texturmesssystems
Tx	Texturparameter des Makrotexturmesssystems (z.B. MPD oder MTD)

Der vorgeschlagene Wert für den IFI besteht aus zwei Parametern: F60 und S_p. F60 ist der harmonisierte Wert für die Griffigkeit bei 60 km/h und S_p ist die Geschwindigkeitskonstante, welche sich über Makrotexturmaße ermitteln lässt.

$$S_p = a + b \times Tx \qquad \textbf{Formel 8-2}$$

S_p	Geschwindigkeitskonstante
a, b	Kalibrierkonstanten eines Texturmesssystems
Tx	Texturparameter des Makrotexturmesssystems (z.B. MPD oder MTD)

Für den GripTester und die Griffigkeitsmesseinrichtung des RoadSTAR wurden die in Tabelle 8-2 angeführten Kalibrierkonstanten ermittelt. Da für die Texturmesseinrichtung des RoadSTAR keine Kalibrierkonstanten im PIARC-Ringversuch ermittelt wurden, konnten nur die Kalibrierkonstanten eines ähnlichen Texturmesssystems verwendet werden. Die beste Korrelation für den Texturparameter MPD konnte mit einem Profilometersystem mit Laserstrahl erreicht werden. Für den Texturparameter MTD nach dem Sandfleckverfahren ist die Korrelation etwas schlechter. In der Tabelle 8-2 sind auch die Bestimmtheitsmaße R^2 der beiden Messsysteme angegeben, dieses bezieht sich auf die Korrelation mit dem im PIARC Ringversuch ermittelten „Goldenen Reibungsbeiwert" GF60.

Für die Hauptgruppe „konstanter Schlupf" betrug die absolute mittlere Differenz von F60 zu GF60 gleich $\Delta_{F60\text{-}GF60}$ = 0,033 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{F60\text{-}GF60}$ = 0,042. Das Bestimmtheitsmaß verbesserte sich von R^2 = 0,70 auf R^2 = 0,82. Die absoluten Differenzen von GripTester ($\Delta_{F60\text{-}GF60}$ = 0,027) und RoadSTAR ($\Delta_{F60\text{-}GF60}$ = 0,033) lagen jeweils innerhalb der Hauptgruppenergebnisse

[123]. Die Ergebnisse für die Hauptgruppen „Seitenkraft“ und „blockiertes Messrad“ lagen annähernd auf dem selben Niveau.

Tabelle 8-2: Kalibrierkonstanten nach PIARC für GripTester, RoadSTAR und Texturparameter [123]

Kalibrierkonstanten	GripTester	RoadSTAR	MPD	MTD
A	0,0821	0,0196	-	-
B	0,9104	0,8673	-	-
C	0,0000	-0,0059	-	-
a	-	-	14,235	-11,598
b	-	-	89,720	113,623
Korrelation R²	0,896	0,842	0,914	0,865

8.3 Vergleichsmessungen GripTester – SCRIM 1993

Im September 1993 fanden Vergleichsmessungen mit vier GripTestern und vier SCRIM auf dem Testgelände des Transport Research Laboratory (TRL) statt [116]. Auf dem Testgelände wurden zwölf 130 m lange Messstrecken mit verschiedenen Griffigkeitsniveaus und Deckschichttypen festgelegt. Im Rahmen dieser Messungen wurde auch die Präzision für den GripTester ermittelt sowie zwei unterschiedliche Messreifen getestet (siehe Kapitel 6.3.1).

Die Gegenüberstellung der Messstreckenmittelwerte der vier GripTester und vier SCRIM zeigte eine sehr gute lineare Korrelation ($R^2 = 0,95$) zwischen den beiden Messsystemen (siehe Abbildung 8-1). Dies galt sowohl für den alten Standardmessreifen „F-Series“ als auch für den neuen „ASTM“-Messreifen. Um Reibungsbeiwerte SCRIM über Reibungsbeiwerte GripTester abschätzen zu können wurden die Formeln 8-3 und 8-4 festgelegt [116].

F-Series: $$SC = 0,823 \times GN - 0,046$$ **Formel 8-3**

ASTM: $$SC = 0,789 \times GN - 0,049$$ **Formel 8-4**

SC Reibungsbeiwert SCRIM (SCRIM Coefficient, 50 km/h)

GN Reibungsbeiwert GripTester (GripNumber, 50 km/h)

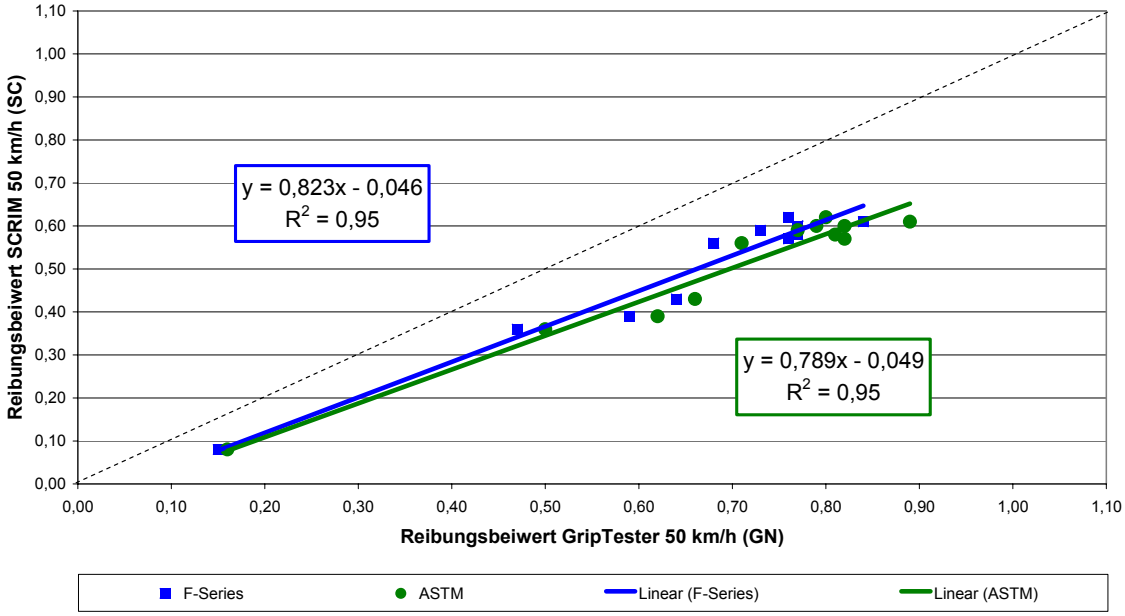


Abbildung 8-1: Korrelation GipTester – SCRIM erweitert aus [116]

8.4 HERMES Projekt 2001/02

Das Projekt „Harmonization of European Routine and research Measuring Equipment for Skid resistance“ wurde vom Forum of European National Highway Research Laboratories (FEHRL) in den Jahren 2001/2002 durchgeführt [125]. Ziel war es, eine Grundlage für eine europäische Norm zur Griffigkeitsmessung auf Straßen und Flughäfen zu schaffen. Weiters sollte ein einheitlicher Faktor für die Griffigkeit, der European Friction Index (EFI), sowie ein harmonisiertes Kalibrierungsverfahren für ganz Europa entwickelt werden. Im Zuge des Projektes wurde auch ein Entwurf für die Spezifikation eines Referenzgriffigkeitsmesssystems erarbeitet. Insgesamt nahmen 8 Länder an dem Harmonisierungsversuch teil: Großbritannien, Frankreich, Belgien, Niederlande, Norwegen, Dänemark, Polen und Spanien.

8.4.1 Teilnehmende Griffigkeitsmesssysteme

Beim HERMES Projekt waren insgesamt 15 Griffigkeitsmesssysteme vertreten, welche in folgende drei Gruppen zusammengefasst werden können [125]:

- Blockiertes Messrad (ADHERA, PFT, SRT-3)
- Konstanter Schlupf (2x ROAR, ROAR II, DWW Trailer, OSCAR, IMAG, GripTester)
- Seitenkraft (3x SCRIM, 2x Odoliograph)

Je Messort wurden allerdings nur drei bis sieben Messsysteme gleichzeitig eingesetzt.

Zur Entwicklung der mathematischen Modelle für die Harmonisierung wurden auch acht Texturmesssysteme eingesetzt, welche die mittlere Profiltiefe (MPD) ermittelten. Allerdings führten je Messort nur ein bis drei Systeme Messungen durch.

8.4.2 Messstreckenauswahl

Die Harmonisierungsmessungen wurden in drei Runden in jeweils drei Ländern durchgeführt. In der ersten Runde wurden 8 Strecken auf dem TRL Testgelände in Großbritannien, 6 Strecken auf Autobahnen und einem Testgelände in den Niederlanden und 6 Strecken auf spanischen Hauptstraßen ausgesucht. Für die zweite Runde fünf Monate später wurden 7 Strecken auf Autobahnen, Haupt- und Landesstraßen in Belgien, 7 Strecken auf dem LCPC-Testgelände in Frankreich und 7 Strecken auf Autobahnen und Hauptstraßen in den Niederlanden festgelegt. Bei der dritten Runde wurden 5 neue und 3 alte Strecken der ersten Runde auf dem TRL Testgelände in Großbritannien und wieder die je sieben gleichen Strecken der zweiten Runde aus Belgien und dem LCPC-Testgelände verwendet.

Somit standen insgesamt für diesen Ringversuch 46 Messstrecken mit verschiedensten Deckschichttypen, Griffigkeitsniveaus und Texturen zur Verfügung. Die Streckenlängen betrugen jeweils mindestens 100 m, womit eine Gesamtlänge von mehr als 4,6 km für die Vergleichsmessungen zur Verfügung stand.

8.4.3 Messdurchführung

Jedes Griffigkeitsmesssystem führte Messungen mit drei verschiedenen Geschwindigkeiten aus: 30 km/h, 90 km/h und der vorgesehenen Standardmessgeschwindigkeit des jeweiligen Gerätes bzw. Landes. Auf jeder Messstrecke wurden je Messsystem mit jeder Geschwindigkeit mindestens fünf Wiederholungsmessungen durchgeführt, womit insgesamt 3 x 5 = 15 100-m-Mittelwerte je Strecke ermittelt werden konnten. Die Reihenfolge der Messgeräte je Wiederholungsdurchgang wurde zuvor randomisiert und erfolgte mit Zeitabständen von fünf Minuten.

Der GripTester aus Belgien führte die Messungen mit den Geschwindigkeiten 30, 60 und 90 km/h, einem Messreifenschlupf von 15 % und einer Wasserfilmdicke von 0,5 mm aus.

8.4.4 Auswertung HERMES Projekt

Die Daten des PIARC Ringversuches wurden durch zusätzliche Messungen ergänzt, um die Parameter des IFI zu optimieren. Dabei wurden speziell Deckschichttypen untersucht, die damals gar nicht oder nur gering vertreten waren. Weiters wurden die Texturwerte in Anlehnung an die aktuelle Norm EN ISO 13473-1 [122] neu berechnet und gezielt die europäischen Griffigkeitsmesssysteme betrachtet. Das führte zur Definition des European Friction Index (EFI). Der Hauptunterschied zwischen IFI und EFI ist, dass der EFI eine Referenzgeschwindigkeit von 30 km/h statt 60 km/h verwendet. Es zeigte sich, dass

eine Referenzgeschwindigkeit von 30 km/h besser zu der Flotte der europäischen Griffigkeitsmesssysteme passte [125].

$$EFI = A + B \times F \times e^{\frac{(S-30)}{S_0}}$$ **Formel 8-5**

EFI European Friction Index

A, B Kalibrierkonstanten eines Griffigkeitsmesssystems

F Reibungsbeiwert eines Griffigkeitsmesssystems bei einer Schlupfgeschwindigkeit S

S Schlupfgeschwindigkeit

S_0 Geschwindigkeitskonstante (siehe Formel 8-6 bzw. 8-7)

Die Kalibrierkonstanten des Texturmesssystems „a“ und „b“ des PIARC Ringversuches wurden durch fixe Werte ersetzt, für die Lasertexturmessung (MPD) und für das Sandfleckverfahren (MTD).

$$S_0 = 57 + 56 \times MPD$$ **Formel 8-6**

$$S_0 = 43 + 70 \times MTD$$ **Formel 8-7**

S_0 Geschwindigkeitskonstante

MPD Mittlere Profiltiefe, Lasertexturmessung

MTD Mittlere Texturtiefe, Sandfleckverfahren

Das Technischen Komitee CEN/TC 227/WG 5 legte bereits im Februar 2002 den Entwurf prCEN/TS 13036-2 [126] vor, der den EFI als harmonisierten Wert für europäische Griffigkeitsmesssysteme festlegt, die Bezeichnung wurde dabei aber auf SRI (Skid Resistance Index) abgeändert. Für den GripTester und den RoadSTAR wurden die in Tabelle 8-3 angeführten Kalibrierkonstanten als Startwerte festgelegt.

Tabelle 8-3: Kalibrierkonstanten nach HERMES für GripTester und RoadSTAR [126]

Kalibrierkonstanten	GripTester	RoadSTAR
A	0,190	0,141
B	0,779	0,684

Der Normenentwurf wurde aber bis heute nicht in die europäischen Normen aufgenommen. Wesentlichster Grund dafür ist, dass die Präzision des EFI nicht ausreichend genau war. Die Wiederholstandardabweichung betrug nur s_r = 0,08 und die Vergleichstandardabweichung s_R = 0,14.

Für alternative Auswertungen konnte für den EFI nach Nullsetzten der Kalibrierkonstanten „A“ = 0 und Ausschluss des GripTesters und des IMAG eine Wiederholstandardabweichung von s_r = 0,04 und eine Vergleichstandardabweichung von s_R = 0,10 angegeben werden. Zusammenfassend bedeutet das, dass der EFI die

Vergleichbarkeit von verschiedenen Griffigkeitsmesssystemen nicht verbessert, aber auch nicht verschlechtert, zumindest aber eine einheitliche Bewertungsskala ermöglicht.

Im März 2009 erschien der Finalentwurf CEN/TS 13036-2 [47] welcher für zehn Griffigkeitsmesssysteme (darunter auch der GripTester) folgende Formel für den Skid Resistance Index festlegt:

$$SRI = B \times F \times e^{\frac{(S-30)}{S_0}} \qquad \textbf{Formel 8-8}$$

SRI	Skid Resistance Index
B	Kalibrierkonstante eines Griffigkeitsmesssystems
F	Reibungsbeiwert eines Griffigkeitsmesssystems bei einer Schlupfgeschwindigkeit S
S	Schlupfgeschwindigkeit
S_0	Geschwindigkeitskonstante (siehe Formel 8-9)

$$S_0 = a \times MPD^{\,b} \qquad \textbf{Formel 8-9}$$

S_0	Geschwindigkeitskonstante
MPD	Mittlere Profiltiefe, Lasertexturmessung
a, b	Kalibrierkonstanten eines Texturmesssystems

Die Parameter „B“, „a“ und „b“ sind im Rahmen eines vorgeschlagenen Kalibrierungsverfahren zu bestimmen, aber die Präzision für den SRI konnte bis dato nicht ermittelt werden.

8.5 Vergleichsmessungen GripTester – SCRIM 2004

Parallel zum GripTester Ringversuch 2004 (siehe Kapitel 6.3.5) fanden auch die jährlichen Vergleichsmessungen mit dem Griffigkeitsmesssystem SCRIM auf dem Testgelände des Transport Research Laboratory (TRL) statt [118]. Daher konnten die Daten beider Messsysteme gleich für Korrelationsuntersuchungen herangezogen werden. Leider war es aufgrund der temporären Markierungshilfen für die SCRIM Messungen nicht möglich, mit dem GripTester dieselbe Messspur abzufahren, weshalb vorerst eine parallele Messspur zur SCRIM festgelegt wurde.

Um aber eine bessere Vergleichsbasis zu schaffen, wurden zwei Tage später, nach Entfernung der Markierungen, mit der SCRIM und dem GripTester von TRL beide Messspuren der sieben Strecken noch mal abgefahren. Danach wurde die Beziehung zwischen den beiden Messspuren ermittelt, um daraus eine indirekte Methode für den Vergleich zu ermöglichen.

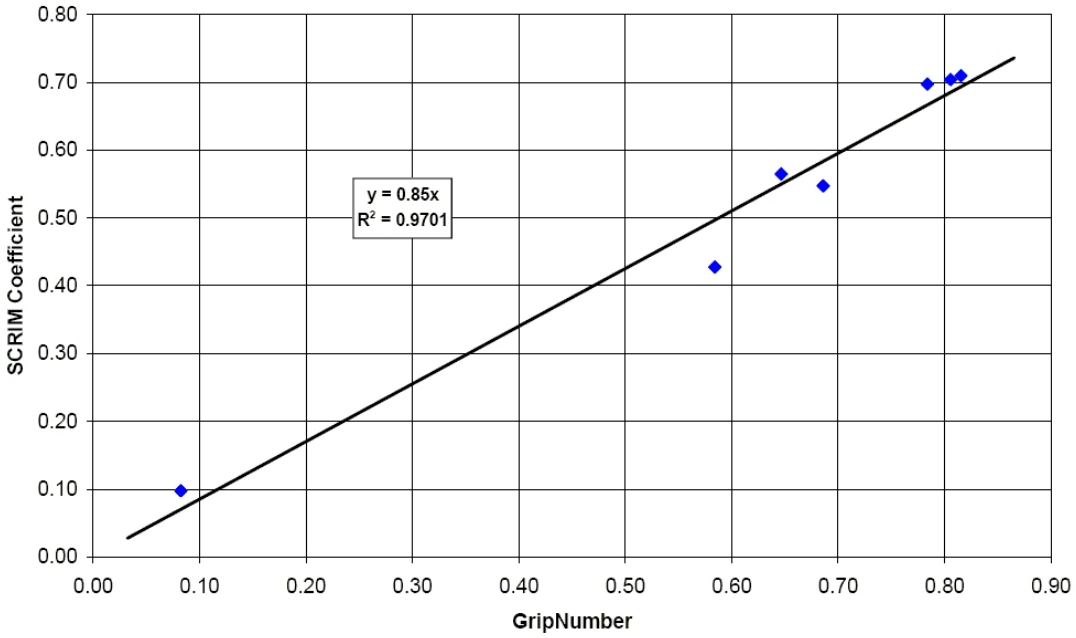


Abbildung 8-2: Korrelation GripTester – SCRIM [118]

Anhand einer linearen Regressionsfunktion durch den Ursprung (siehe Abbildung 8-2) mit einem sehr guten Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,97$, wurde eine offizielle Umrechnungsfunktion von Reibungsbeiwerten GripTester auf Reibungsbeiwerte SCRIM (siehe Formel 8-10) herausgegeben. Diese basiert auf den Messstreckenmittelwerten der beiden Messsysteme und ermöglicht eine Abschätzung von Reibungsbeiwerten SCRIM über Reibungsbeiwerte GripTester [118]:

$$SC = 0,85 \times GN$$ **Formel 8-10**

SC Reibungsbeiwert SCRIM (SCRIM Coefficient, 50 km/h)

GN Reibungsbeiwert GripTester (GripNumber, 50 km/h)

8.6 Vergleichsmessungen RoadSTAR/GripTester – SRT-Pendel

In Österreich ist das SRT-Pendel als Ersatzmesssystem für den RoadSTAR bei Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen von kurzen Baulosen vorgesehen (siehe Kapitel 4.1). Daher ist natürlich die Korrelation des stationären Messgerätes mit den dynamischen Messgeräten ebenfalls von Interesse. Arsenal research führte bereits Vergleichsmessungen zwischen RoadSTAR und SRT-Pendel durch [127]. In Abbildung 8-3 sind die Ergebnisse der 50-m-Mittlelwerte des RoadSTAR mit den SRT-Pendelwerten graphisch dargestellt, wobei besonders auf eine korrekte Zuordnung der Messwerte geachtet wurde. Deutlich war hier ein schlechter Zusammenhang der Messergebnisse der beiden Messsysteme erkennbar (Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,17$) [17].

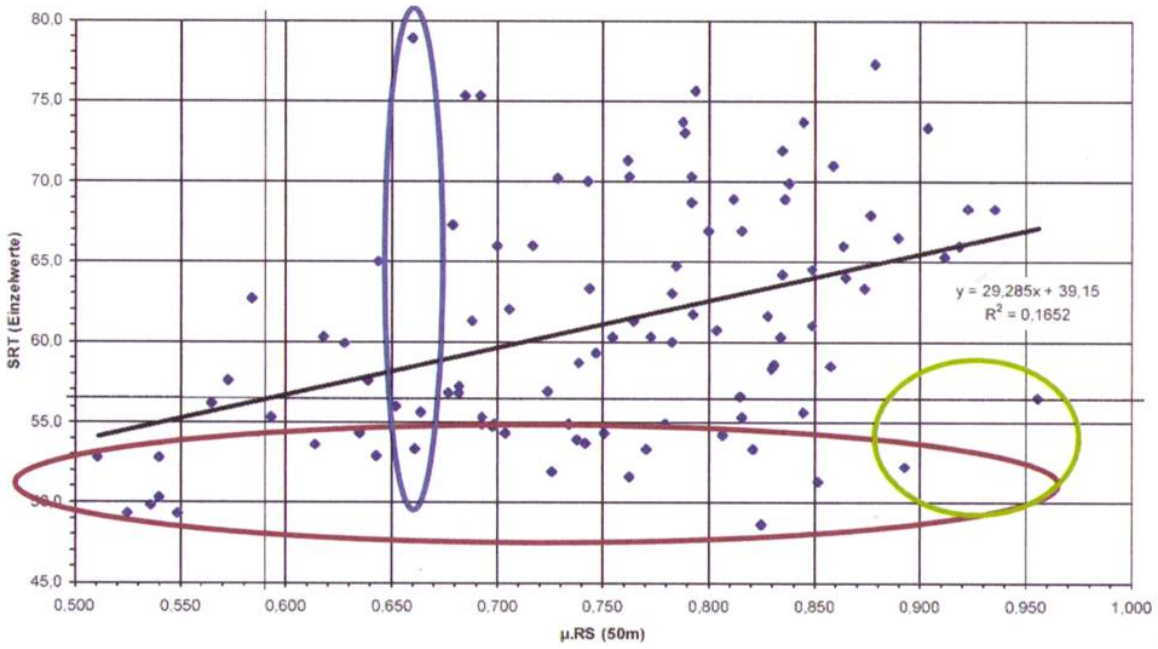


Abbildung 8-3: Korrelation RoadSTAR – SRT-Pendel [17] [127]

Bei der Detailanalyse der Ergebnisse in Abbildung 8-3 kann man drei Bereiche festhalten [17]:

- Rot: die SRT-Pendelwerte sind nahezu unabhängig von den RoadSTAR-Griffigkeitswerten. Die SRT-Werte liegen auf einem „schlechten" Wertniveau von 49 bis 55, dem gegenübergestellt sind RoadSTAR-Werte von 0,51 bis 0,89 (Zustandsklassen „Ausreichend" bis „Sehr Gut") vorhanden.
- Blau: RoadSTAR-Griffigkeitswerte von ca. 0,66 entsprechen SRT-Pendelwerten von 53 bis 79.
- Grün: sehr hohe RoadSTAR-Griffigkeitswerte (Zustandsklasse „Sehr Gut") entsprechen nur geringen SRT-Pendelwerten.

Auch das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien führte im Rahmen einer Diplomarbeit [50] bereits Vergleichsmessungen zwischen GripTester und SRT-Pendel durch. Dazu wurden auf elf Landesstraßen an 54 Messstellen ergänzend zu Sandfleckversuchen (siehe Kapitel 7.2) auch Pendelversuche ausgeführt. Die SRT- bzw. PTV-Werte wurden dann den Reibungsbeiwerten des GripTesters bei 60 km/h und 40 km/h gegenübergestellt. Wie in Abbildung 8-4 zu sehen ist, waren aber auch hier nur sehr schlechte Korrelationen vorhanden (Bestimmtheitsmaße $R^2 = 0{,}48$ bzw. $R^2 = 0{,}26$).

Der SRT-Pendelversuch kann daher nur einen sehr groben Überblick über das Griffigkeitsniveau einer Fahrbahnoberfläche geben und ist nur bedingt geeignet, auf die Reibungsbeiwerte von RoadSTAR bzw. GripTester zu schließen.

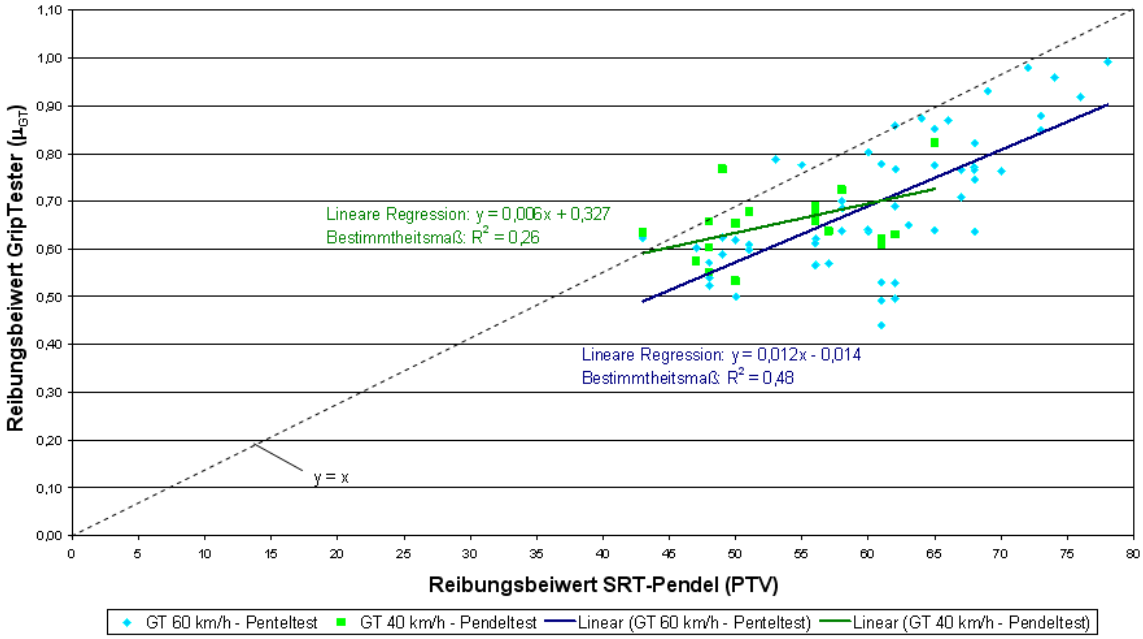


Abbildung 8-4: Korrelation GripTester – SRT-Pendel [50]

8.7 TYROSAFE Projekt 2008 – 2010

Das Projekt “Tyre and Road Surface Optimisation for Skid Resistance and Further Effects” hat eine europäische Harmonisierung und Optimierung der Erfassung und Bewertung der essentiellen Interaktionsparameter Reifen/Straße (Griffigkeit, Rollwiderstand, Lärmemissionen) zum Ziel. Während der Projektdauer von 2008 bis 2010 sollen unter anderem der aktuelle Stand der Technik der Griffigkeitsmessung dargestellt werden und Empfehlungen für ein standardisiertes Griffigkeitsmessverfahren für Europa entwickelt werden. Dazu wurden folgende Aufgaben festgelegt [48] [128] [129] [130]:

- Vergleich der aktuellen nationalen Griffigkeitsmesssysteme und -verfahren
- Analyse bereits durchgeführter Harmonisierungsprojekte
- Definition von möglichen Spezifikationen für ein europäisches Standardgriffigkeitsmessgerät (SESRD – Standard European Skid Resistance Device)
- Definition von Referenzoberflächen für Harmonisierungsversuche
- Entwicklung eines Implementierungsplans, der bis zum Jahr 2020 den Einsatz eines harmonisierten Griffigkeitsmessverfahrens in Europa ermöglicht und einen sanften Übergang zu diesem Verfahren in den jeweiligen EU-Ländern erlaubt

Als Zwischenschritt auf dem Weg zu einem EU-Griffigkeitsmessverfahren sind auch Korrelationsuntersuchungen zwischen den nationalen Griffigkeitsmess-systemen und dem SESRD auf festgelegten Referenzoberflächen vorgesehen.

8.8 Beurteilung und Zukunft der Harmonisierungsversuche

Der erste große Versuch – der PIARC Ringversuch [123] – alle weltweit vorhandenen Griffigkeitsmesssysteme zu harmonisieren, hat teilweise die Erwartungen übertroffen. Anhand eines geeigneten Modells und mit Einbeziehung von Texturmesswerten konnte der International Friction Index (IFI) als einheitliche Bewertungsskala definiert werden. Aber hier liegt auch schon das Problem bei der praktischen Anwendung. Da nicht alle Griffigkeitsmessverfahren mit Texturmesseinrichtungen ausgestattet sind, ist eine Ermittlung des IFI oft nicht möglich. Hierzu müssten zu den dynamischen Messverfahren zusätzlich auch Texturmessungen mit dem Sandfleckverfahren durchgeführt werden, diese würden die Vorteile der schnell fahrenden Systeme aber deutlich reduzieren. Weiters musste der Deckschichttyp Drainasphalt bei den Auswertungen ausgeschlossen werden, da hier keine Texturdaten aufgezeichnet werden konnten.

Das Projekt HERMES [125], welches auf den Daten des PIARC Ringversuches aufbaute, hatte zum Ziel, durch ergänzende Messungen und eine Fokussierung auf europäische Griffigkeitsmesssysteme die Harmonisierung zu verbessern. Der European Friction Index (EFI), welcher ebenfalls zusätzlich auf Texturmesswerte zurückgreift, erzielte aber nicht den gewünschten Erfolg, da die Vergleichgenauigkeit nicht zufriedenstellend war. Anhand der vorhandenen Daten und entwickelten Modelle für den EFI, konnte daher noch keine zufriedenstellende und praktikable Harmonisierung für alle europäischen Messsysteme gefunden werden.

Sowohl beim PIARC- als auch HERMES-Versuch wurden alle Messsysteme gegen den Mittelwert aller Geräte (Goldener Reibungsbeiwert) korreliert. Eine Alternative wäre allerdings, ein Referenzgerät für einen direkten Vergleich zu verwenden. Hinsichtlich der Anforderungen an so ein Referenzgerät wurden bereits verschiedene Spezifikationen vorgeschlagen, welche dem Griffigkeitsmesssystem RoadSTAR teilweise sehr ähnlich sind [125] [128].

Bei den beiden Korrelationsversuchen von GripTester und SCRIM [116] [118] konnten jeweils sehr gute Zusammenhänge ermittelt werden. Allerdings sind diese Ergebnisse zu hinterfragen, da nur sehr wenige (7 bis 12) und sehr kurze Abschnitte (80 m bis 180 m) auf einem Testgelände gemessen wurden. Es zeigte sich aber, dass beim Vergleich von nur zwei Griffigkeitsmesssystemen, statt dem gesamten Spektrum, es durch aus möglich ist, auch ohne Zuhilfenahme von Texturparametern eine ausreichend gute Korrelation zu erzielen.

Die Vergleichsmessungen des stationären SRT-Pendels mit den dynamischen Griffigkeitsmesssystemen RoadSTAR [127] und GripTester [50] zeigten keine zufriedenstellenden Korrelationen. Daher wird vorgeschlagen, falls ein besserer Zusammenhang zwischen den Reibungsbeiwerten von GripTester und RoadSTAR vorliegt, die Ersatzmessungen bei Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen mit dem SRT-Pendel und dem Ausflussmesser durch solche mit dem GripTester zu ersetzen.

Trotz großer internationaler Bemühungen konnte bisher keine befriedigende Harmonisierung der zahlreichen unterschiedlichen Griffigkeitsmesssysteme erzielt werden. Im Rahmen des im Jahr 2008 gestarteten Projekts TYROSAFE wird als Zwischenschritt, auf dem Weg zu einem europaweiten harmonisierten Griffigkeitsmessverfahren bis 2020, die Korrelation der verschiedenen nationalen Griffigkeitsmesssysteme mit einem europäischen Standardgriffigkeitsmesssystem (SESRD) vorgeschlagen [48]. Da der in Österreich vorhandene RoadSTAR einem Vorschlag für ein eventuell zukünftiges SESRD entspricht, ist der in dieser Arbeit eingeschlagene Weg, zuerst nur den GripTester mit dem RoadSTAR zu korrelieren, um eine gleichwertige Beurteilung der Griffigkeit zu erreichen, sinnvoll und praktikabel.

Eine Gegenüberstellung der Griffigkeitsmesssysteme (siehe auch Kapitel 3) bei den Harmonisierungsversuchen zeigt, dass alle Geräte auf dem Messprinzip der Reibung zwischen einer Gummioberfläche und einer angenässten Fahrbahnoberfläche basieren. Seit einiger Zeit werden auch Forschungen betrieben, die Griffigkeit mit berührungslosen Messsystemen zu erfassen und nur anhand der vorhandenen Textureigenschaften (Mikro- und Makrotextur) abzuleiten. Somit lassen sich schon viele Einflussparameter eliminieren, die jedem Griffigkeitsmesssystem eigen sind (Messverfahren, Messreifentyp, Gummieigenschaften, Schlupf, Geschwindigkeit, Wasserfilmdicke, etc.).

Die Thesen von *Klüppel* und *Heinrich* [13] und von *Schramm* [131] verwendeten für die Texturanalyse Höhendifferenzenkorrelationen und fanden bereits vielversprechende Ansätze für den Einfluss auf die Griffigkeit heraus. *Steinauer et al.* [132] entwickelten bereits ein Prognoseinstrumentarium für die Griffigkeit von Fahrbahndecken aus Asphalt, welches analog nach *Schulze* [133] die Parameter Textur, Kantenschärfe und Drainagefähigkeit beinhaltet. Mit diesem Modell und der Laborprüfmaschine nach Wehner/Schulze konnte die Griffigkeit von Deckschichtproben bereits gut vorhergesagt werden [134] [135].

Es scheint theoretisch also durchaus möglich, mit hochauflösenden Sensoren die Textur der Fahrbahnoberfläche ausreichend genau zu erfassen, um daraus ein Griffigkeitsmodell zu entwickeln, welches auch die Gummireibung mit berücksichtigt. Zukünftig könnte also das Problem umgangen werden, alle vorhandenen Griffigkeitsmesssysteme zu harmonisieren oder gegen ein Referenzsystem zu korrelieren. Allerdings steckt das Verfahren, die Griffigkeit allein aus der Textur zu prognostizieren, noch im Anfangsstadium und geht über den Rahmens des TYROSAFE Projekts hinaus [128]. Daher werden noch einige Zeit die verschiedenen Messverfahren zur Ermittlung der Griffigkeit zu Anwendung kommen und man muss auf die Erkenntnisse der durchgeführten Harmonisierungsversuche zurückgreifen bzw. diese weiter optimieren.

9 Vergleichsmessungen GripTester – RoadSTAR

Ein Schwerpunkt des Forschungsvorhabens 3.300 im Auftrag des BMVIT [6], welches im Frühjahr 2007 abgeschlossen wurde, waren ebenfalls Vergleichsmessungen zwischen GripTester und RoadSTAR sowie die Ermittlung geeigneter Korrelationen als Basis für eine Umrechungsfunktion. Anhand der vorhandenen Daten konnte eine Umrechnungsfunktion gefunden werden, welche allerdings nur ein mittelmäßiges Bestimmtheitsmaß aufwies. Das lag vor allem an dem geringen Datenumfang von Deckschichten mit schlechten Griffigkeiten. Daher wurden in der darauffolgenden Messsaison noch ergänzende Untersuchungen auf Strecken durchgeführt, auf denen mit dem RoadSTAR bereits sehr niedrige Reibungsbeiwerte gemessen worden waren.

In der gegenständlichen Arbeit wurden die Daten und Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben mit den aktuellen Messdaten ergänzt. Die daraus folgenden Unterschiede der Ergebnisse werden speziell in den Kapiteln 9.3, 9.6 und 10.1 vergleichend dargestellt.

9.1 Grundlegende Überlegungen

Im Moment gibt es in Europa keine offiziellen Bewertungskriterien für Reibungsbeiwerte, die mit dem Messsystem GripTester ermittelt werden. Um den GripTester aber zur Beurteilung der Fahrbahngriffigkeit in Österreich einsetzen zu können, ist es notwendig, einen Bewertungshintergrund zu erstellen. Für das in Österreich bereits etablierte Griffigkeitsmesssystem RoadSTAR wurde 1996 anhand einer umfangreichen Messkampagne auf dem Autobahn-, Schnellstraßen- und dem ehemaligen Bundesstraßennetz B ein Bewertungshintergrund auf Basis einer Häufigkeitsverteilung der vorhandenen Griffigkeit abgeleitet (siehe Kapitel 4.1.7). Dieselbe Vorgangsweise ist aber für den GripTester aus folgenden Gründen nicht zu empfehlen:

- Das Niveau der Griffigkeit hat sich seit 1996 verändert, und zwar zum Positiven. Dadurch würde man bei einer aktuellen netzweiten Messkampagne eine ganz andere Häufigkeitsverteilung der Griffigkeit erhalten als damals und die beiden Bewertungshintergründe würden voneinander abweichen.
- Aufgrund des begrenzten Wassertankvolumens ist das Messsystem GripTester für eine netzweite Zustandserfassung nicht sehr gut geeignet.
- Der Zeitaufwand für eine solche Messkampagne mit dem GripTester, um einen Bewertungshintergrund aufzustellen, wäre enorm.
- Der derzeitige Bewertungshintergrund wurde aufgrund aktueller Untersuchungen mit dem RoadSTAR bereits überarbeitet [17].

Daher wurde der Weg gewählt, anhand von Vergleichsmessungen zwischen den Griffigkeitsmesssystemen GripTester und RoadSTAR auf ausgesuchten Strecken eine Korrelation zu ermitteln. Diese soll als Basis zur Umrechnung der Reibungsbeiwerte GripTester (μ_{GT}) auf Reibungsbeiwerte RoadSTAR (μ_{RS}) dienen. Sollte dies gelingen, könnte der vorhandene Bewertungshintergrund, bzw. die festgelegten Ziel-, Warn- und Schwellenwerte gemäß RVS 13.01.15 [76] auch für die Beurteilung der Fahrbahngriffigkeit mit dem GripTester herangezogen werden.

9.2 Messprogramm

9.2.1 Messstreckenauswahl

Um mit dem GripTester Vergleichsmessungen mit dem RoadSTAR mit möglichst kurzen Zeitdifferenzen durchführen zu können, erfolgten diese in Abstimmung mit dem vorhandenen Messplan von arsenal research, da der RoadSTAR nicht für Extramessungen zur Verfügung gestellt werden konnte. Im Zeitraum Juli 2005 bis Juli 2007 wurden gemeinsame Messungen auf 41 Messstrecken mit unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen durchgeführt. Ein Großteil der Messungen konnte mit Zeitdifferenzen von einem Tag bis vier Wochen ausgeführt werden. Nur auf den Strecken Nr. 7, 11, 12, 15, 16, 34 und 44 betrugen die Messzeitabstände sechs bis zwölf Wochen und auf der Strecke Nr. 17 sogar 19 Wochen. Auf den Messstrecken Nr. 10, 42 und 43 wurden im Rahmen der Qualitätssicherung (siehe Kapitel 7.5) zweimal Vergleichsmessungen durchgeführt. Eine Übersicht aller Messtage und Messstrecken von GripTester und RoadSTAR ist in Tabelle 1-1 (siehe Seite 5) zusammengestellt. Die Messstrecken wurden so gewählt, dass ein möglichst repräsentativer Ausschnitt der in Österreich vorkommenden Deckschichttypen erfasst wurde:

- 3x lärmmindernder Splittmastixasphalt (LSMA)
- 3x Drainasphalt (DA)
- 7x Splittmastixasphalt (SMA)
- 9x Asphaltbeton (AB)
- 8x bituminöse Tragdeckschicht (BTD)
- 3x bituminöse Oberflächenbehandlung (OBH)
- 2x Dünnschichtdecke (DD)
- 2x Beton
- 3x Waschbeton (1x alt, 2x neu)
- 1x Rutschbelag TG Inatol

Der „Rutschbelag“ im ÖAMTC Fahrsicherheitszentrum Teesdorf wurde ebenfalls ins Messprogramm aufgenommen, um den Unterschied der beiden Messsysteme bei einem extrem niedrigen Griffigkeitsniveau feststellen zu können. Generell betrugen die Messstreckenlängen 2,0 km, acht Strecken waren nur 0,5 km und vier nur 1,2 km lang. Insgesamt konnten somit mit GripTester und RoadSTAR auf ca. 67 km Vergleichsmessungen durchgeführt werden.

9.2.2 Messdurchführung

Damit die Messergebnisse von GripTester und RoadSTAR vergleichbar sind, wurden sie unter standardisierten Bedingungen ermittelt. Da es zum damaligen Zeitpunkt noch kein standardisiertes Messverfahren für den GripTester gab, wurde eines gewählt, das dem des RoadSTAR möglichst ähnlich und praktikabel war. In der Tabelle 9-1 sind die standardisierten Messverfahren von GripTester und RoadSTAR gegenübergestellt und die Messbedingungen für die Vergleichsmessungen angegeben.

Zur Ermittlung der Griffigkeit wurde mit dem GripTester auf jeder Messstrecke eine Reinigungsfahrt vorgenommen. Danach wurden zwei Messungen mit der Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h ausgeführt. Auf 23 der 41 Strecken wurden anschließend auch zwei Messungen mit 40 km/h durchgeführt, um zu überprüfen, ob GripTester-Messungen mit einer niedrigeren Messgeschwindigkeit ebenfalls mit den RoadSTAR-Messungen vergleichbar sind. Die Messungen von arsenal research wurden großteils mit dem alten RoadSTAR durchgeführt, auf 11 Messstrecken kam aber schon der neue RoadSTAR² zum Einsatz. Mit dem RoadSTAR wurde jede Strecke prinzipiell nur einmal mit der Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h befahren. Alle Messungen erfolgten generell in der rechten Rollspur des ersten Fahrstreifens und für die Auswertung wurden 50-m-Mittelwerte gebildet. Im Anhang B sind die Griffigkeitsverläufe der Vergleichsmessfahrten im 50-m-Intervall für beide Messsysteme je Messstrecke graphisch dargestellt.

Tabelle 9-1: Standardisiertes Messverfahren und Messbedingungen für die Vergleichsmessungen

Parameter	GripTester	RoadSTAR
Messreifen	ASTM-Standard E1844-96	PIARC-Messreifen
Messreifeninnendruck	1,4 bar (20 °C)	2,0 bar (20 °C)
Messreifenschlupf	15 %, konstant	18 %, konstant
Messreifenlast	ca. 250 N, variabel	3500 N, konstant
Messgeschwindigkeit	60 ± 3 km/h	60 km/h [1)]
theoretische Wasserfilmdicke	0,5 mm	0,5 mm
Wasserfluss	25 l/min	100 l/min
Einzelwerterfassung	40 cm	15 cm
Aufzeichnungsintervall	5 m	5 m
Auswerteintervall	50 m	50 m
Messspurlage	rechte Rollspur des FS	rechte Rollspur des FS
Vorlaufstrecke	500 m im Messbetrieb	500 m im Messbetrieb
Fahrbahnoberflächentemperatur	5 °C bis 50 °C	
Lufttemperatur	> 3 °C	
Fahrbahnzustand	nicht sichtbar Verschmutzt	

1) Falls in Ausnahmefällen eine geringere Geschwindigkeit gefahren wird, werden die Reibungsbeiwerte auf eine Messgeschwindigkeit von 60 km/h umgerechnet.

9.3 Vergleich der Reibungsbeiwerte

9.3.1 Differenzen der Reibungsbeiwerte GripTester – RoadSTAR

Für die 41 Messstrecken wurden für den GripTester die Mittelwerte der Griffigkeit für 60 km/h ($\mu_{GT,60}$) und für 40 km/h ($\mu_{GT,40}$) jeweils aus zwei Messungen berechnet. Für den RoadSTAR wurden die Messstreckenmittelwerte ($\mu_{RS,60}$) jeweils aus einer Messung ermittelt. In Tabelle 9-2 sind die Messstreckenmittelwerte für die zwei Messgeschwindigkeiten des GripTesters und für die Standardmessgeschwindigkeit des RoadSTAR sowie die Differenzen ($\Delta\mu_{RS-GT}$) und Standardabweichungen (σ_{RS-GT}) zwischen den beiden Messsystemen angeführt.

Gesamt betrachtet ist festzustellen, dass die gemessenen Reibungsbeiwerte des RoadSTAR prinzipiell höher sind als die des GripTesters. Die mittlere Differenz der 44 Messstreckenmittelwerte von GripTester 60 km/h und RoadSTAR 60 km/h beträgt $\Delta\mu_{RS-GT,60}$ = 0,125 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{RS-GT,60}$ = 0,0915 und verringert sich für die 23 Messstreckenmittelwerte von GripTester 40 km/h und RoadSTAR 60 km/h auf $\Delta\mu_{RS-GT,40}$ = 0,062 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{RS-GT,40}$ = 0,0777 (siehe Tabelle 9-2).

Da diese Ergebnisse aber bei Betrachtung von einzelnen Deckschichtgruppen deutlich abweichen, wurden die Daten noch auf eventuell vorhandene Unregelmäßigkeiten untersucht. Wie deutlich zu sehen ist, sind die Differenzen der Messergebnisse von GripTester und RoadSTAR nicht für alle Deckschichtgruppen gleich groß. Auf den Deckschichten LSMA und DA (Nr. 1 bis Nr. 6) misst der GripTester mit 60 m/h fast die gleichen, teilweise sogar höhere Reibungsbeiwerte als der RoadSTAR. Dieses Phänomen trifft auch auf die neuen Waschbetonstrecken Nr. 43 und Nr. 44 sowie auf die beiden Dünnschichtdecken Nr. 38 und Nr. 39 zu. Da es sich bei der Strecke Nr. 38 zusätzlich um eine sehr inhomogene Fahrbahnoberfläche mit zahlreichen Rissverfüllungen handelte und außerdem die Wiederholgenauigkeit der Messungen (siehe Kapitel 6.4) schlecht war, sind diese Daten für die weiteren Untersuchungen als sehr kritisch zu betrachten. Zu hinterfragen sind ebenfalls die Ergebnisse der Strecken Nr. 9, Nr. 14 und Nr. 27, da sich diese von den übrigen innerhalb der Deckschichtgruppe deutlich unterscheiden. Die Strecke Nr. 9 war auch schon bei den Untersuchungen zur Geschwindigkeitsabhängigkeit auffällig, weshalb diese ausgeschlossen wird. Obwohl die Strecke Nr. 28 hier gut ins Kollektiv passt, wurde diese bei der Geschwindigkeitsuntersuchung ausgeschieden, weshalb diese Daten ebenfalls fraglich sind. Da es sich beim „Rutschbelag“ nur um einen einzigen 50-m-Abschnitt handelte sind die Ergebnisse der Strecke Nr. 45 ebenfalls mit Vorsicht zu behandeln.

Tabelle 9-2: Messstreckenmittelwerte von GripTester und RoadSTAR und deren Differenzen

Nr.	Deckschicht-gruppe	Griffigkeit [-] GripTester		RoadSTAR	Differenzen + Standardabweichungen RoadSTAR - GripTester			
		$\mu_{GT,60}$	$\mu_{GT,40}$	$\mu_{RS,60}$	$\Delta\mu_{RS-GT,60}$	$\sigma_{RS-GT,60}$	$\Delta\mu_{RS-GT,40}$	$\sigma_{RS-GT,40}$
1	LSMA	0,725	0,763	0,738	**0,013**	0,015	**-0,025**	0,014
2		0,688	0,735	0,711	**0,024**	0,013	**-0,024**	0,012
3		0,690	0,723	0,693	**0,003**	0,008	**-0,030**	0,007
4	DA	0,719	0,747	0,707	**-0,012**	0,009	**-0,040**	0,011
5		0,738	0,768	0,721	**-0,017**	0,008	**-0,047**	0,010
6		0,738	0,772	0,723	**-0,014**	0,006	**-0,048**	0,008
7	SMA	0,612	-	0,695	**0,083**	0,042	-	-
8a		0,556	-	0,768	**0,213**	0,043	-	-
9		0,698	0,740	0,728	**0,030**	0,021	**-0,013**	0,014
10a		0,554	-	0,680	**0,126**	0,084	-	-
10b		0,548	-	0,719	**0,171**	0,085	-	-
11		0,667	0,751	0,842	**0,176**	0,036	**0,091**	0,021
12		0,310	-	0,445	**0,132**	0,046	-	-
13		0,556	0,635	0,744	**0,188**	0,072	**0,109**	0,052
14	AB	0,652	0,731	0,738	**0,085**	0,032	**0,007**	0,020
15		0,330	0,440	0,529	**0,201**	0,068	**0,088**	0,046
16		0,320	0,370	0,526	**0,204**	0,053	**0,155**	0,052
17		0,629	-	0,846	**0,217**	0,093	-	-
20		0,569	0,647	0,745	**0,175**	0,055	**0,098**	0,048
21		0,521	0,612	0,775	**0,254**	0,064	**0,162**	0,046
22		0,697	-	0,919	**0,221**	0,087	-	-
23		0,613	0,685	0,794	**0,182**	0,098	**0,109**	0,090
25		0,623	0,703	0,766	**0,142**	0,081	**0,063**	0,047
26	BTD	0,253	-	0,363	**0,110**	0,011	-	-
27		0,521	0,614	0,837	**0,316**	0,065	**0,223**	0,060
28		0,594	0,624	0,722	**0,129**	0,086	**0,098**	0,092
29		0,676	0,734	0,799	**0,123**	0,037	**0,065**	0,037
30		0,612	0,700	0,833	**0,221**	0,047	**0,132**	0,039
31		0,676	-	0,806	**0,130**	0,069	-	-
32		0,770	-	0,876	**0,105**	0,049	-	-
33		0,623	-	0,816	**0,193**	0,080	-	-
34	OBH	0,160	0,210	0,343	**0,181**	0,037	**0,129**	0,037
35		0,675	0,729	0,837	**0,162**	0,068	**0,108**	0,065
36		0,761	-	0,878	**0,117**	0,048	-	-
38	DD	0,911	-	0,904	**-0,007**	0,073	-	-
39		0,828	-	0,887	**0,059**	0,090	-	-
40	Beton	0,453	-	0,589	**0,136**	0,054	-	-
41		0,335	-	0,540	**0,205**	0,029	-	-
42a	Waschbeton	0,423	-	0,676	**0,253**	0,037	-	-
42b		0,434	-	0,690	**0,256**	0,030	-	-
43a		0,807	-	0,756	**-0,051**	0,022	-	-
43b		0,761	-	0,786	**0,025**	0,018	-	-
44		0,717	-	0,706	**-0,011**	0,026	-	-
45b	TG Inatol	0,070	0,100	0,120	**0,050**	-	**0,020**	-
Alle Messstrecken (1 bis 45)					**0,125**	0,092	**0,062**	0,078
Ohne Messstrecken 1,2,3,4,5,6,9,14,27,28,38,39,43,44,45					**0,174**	0,048	**0,109**	0,031

Nach Ausschluss der 15 auffälligen Messstrecken ergibt sich für die restlichen 28 Messstreckenmittelwerte eine mittlere Differenz GripTester 60 km/h – RoadSTAR 60 km/h von $\Delta\mu_{RS\text{-}GT,60}$ = 0,174 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{RS\text{-}GT,60}$ = 0,0479. Für die übrigen 12 Messstrecken, die mit dem GripTester mit 40 km/h befahren wurden, verändert sich die mittlere Differenz der Messstreckenmittelwerte auf $\Delta\mu_{RS\text{-}GT,40}$ = 0,109 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{RS\text{-}GT,40}$ = 0,0313. Durch Ausscheiden der problematischen Messstrecken erhöhten sich die mittleren Differenzen um ca. +0,05 und die Standardabweichungen halbierten sich fast (siehe Tabelle 9-2).

Da in Österreich die Abschnittslänge für die Beurteilung des Zustandsindikators Griffigkeit mit 50 m festgelegt wurde, ist es notwendig, auch die 50-m-Mittelwerte zu vergleichen. Dazu standen insgesamt 1416 50-m-Abschnitte zur Verfügung die mit 60 km/h von GripTester und RoadSTAR gemessen wurden. Für alle Abschnitte zusammen beträgt die mittlere Differenz der 50-m-Mittelwerte GripTester 60 km/h und RoadSTAR 60 km/h gleich $\Delta\mu_{RS\text{-}GT,60}$ = 0,143 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{RS\text{-}GT,60}$ = 0,1028 (siehe Tabelle 9-3, 1. Zeile). Das 95%-Konfidenzintervall (Vertrauensbereich) gemäß [113] [114] beträgt für die mittlere Differenz $[0{,}138 \leq \Delta\mu_{RS\text{-}GT,60} \leq 0{,}148]$. Für die 592 50-m-Abschnitte die mit dem GripTester mit 40 km/h und dem RoadSTAR mit 60 km/h befahren wurden, beträgt die mittlere Differenz der 50-m-Mittelwerte gleich $\Delta\mu_{RS\text{-}GT,40}$ = 0,095 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{RS\text{-}GT,40}$ = 0,0789 (siehe Tabelle 9-3, 3. Zeile). Das 95%-Konfidenzintervall beträgt für die mittlere Differenz $[0{,}089 \leq \Delta\mu_{RS\text{-}GT,40} \leq 0{,}101]$.

Für eine weitere Betrachtung wurden nun auch wieder die Daten der problematischen Messstrecken sowie zehn weitere 50-m-Abschnitte ausgeschieden. Anhand der restlichen 1045 50-m-Abschnitte konnte eine mittlere Differenz der Reibungsbeiwerte GripTester 60 km/h und RoadSTAR 60 km/h von $\Delta\mu_{RS\text{-}GT,60}$ = 0,175 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{RS\text{-}GT,60}$ = 0,0744 erreicht werden (siehe Tabelle 9-3, 2. Zeile). Das 95%-Konfidenzintervall verändert sich für die mittlere Differenz auf $[0{,}170 \leq \Delta\mu_{RS\text{-}GT,60} \leq 0{,}179]$. Für die übrigen 428 50-m-Abschnitte die mit dem GripTester mit 40 km/h befahren wurden, verringert sich die mittlere Differenz der Reibungsbeiwerte auf $\Delta\mu_{RS\text{-}GT,40}$ = 0,107 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{RS\text{-}GT,40}$ = 0,0535 (siehe Tabelle 9-3, 4. Zeile). Das 95%-Konfidenzintervall beträgt für die mittlere Differenz $[0{,}102 \leq \Delta\mu_{RS\text{-}GT,40} \leq 0{,}112]$.

In Tabelle 9-3 sind die mittleren Differenzen der Reibungsbeiwerte von GripTester und RoadSTAR ($\Delta\mu_{RS\text{-}GT}$) sowie deren Standardabweichungen ($\sigma_{RS\text{-}GT}$) zusammengefasst und den Ergebnissen des Forschungsvorhabens [6] gegenübergestellt. Bei Betrachtung aller Deckschichttypen und gleicher Messgeschwindigkeit von GripTester und RoadSTAR (60 km/h) haben sich durch die zusätzlichen Messergebnisse im niedrigen Griffigkeitsbereich die Differenzen der Reibungsbeiwerte nicht verändert. Vergleicht man die aktuelle Auswertung mit jener des Forschungsvorhabens erhöhte sich erst nach Ausschluss der problematischen Messstrecken (LSMA, DA, DD, Waschbeton, Rutschbelag) die mittlere Differenz um ca. +0,01. Bei Betrachtung der Ergebnisse mit unterschiedlicher

Messgeschwindigkeit von GripTester und RoadSTAR (40 und 60 km/h) konnte generell ein Anstieg der mittleren Differenzen von +0,01 durch die zusätzlichen Messergebnisse beobachtet werden.

Tabelle 9-3: Mittlere Differenzen und Standardabweichungen der Reibungsbeiwerte von GripTester und RoadSTAR (Basis 50-m-Abschnitte)

Daten	Messgeschwindigkeit GripTester	Messgeschwindigkeit RoadSTAR	Deckschichttypen	Anzahl Abschnitte	$\Delta\mu_{RS-GT}$	σ_{RS-GT}
Aktuelle Datenbasis	60 km/h	60 km/h	LSMA, DA, SMA, AB, BTD, OBH, DD, Beton, Waschbeton, Rutschbelag	1416	**0,14**	0,103
	60 km/h	60 km/h	SMA, AB, BTD, OBH, Beton	1045	**0,18**	0,074
	40 km/h	60 km/h	LSMA, DA, SMA, AB, BTD, OBH, Rutschbelag	592	**0,10**	0,079
	40 km/h	60 km/h	SMA, AB, BTD, OBH	428	**0,11**	0,054
Forschungs-vorhaben [6]	60 km/h	60 km/h	LSMA, DA, SMA, AB, BTD, OBH, DD, Beton, Waschbeton, Rutschbelag	1322	**0,14**	0,106
	60 km/h	60 km/h	SMA, AB, BTD, OBH, DD, Beton	1027	**0,17**	0,079
	40 km/h	60 km/h	LSMA, DA, SMA, AB, BTD, OBH, Rutschbelag	522	**0,09**	0,084
	40 km/h	60 km/h	SMA, AB, BTD, OBH	406	**0,10**	0,063

Für die ausgeschiedenen Messstrecken erscheint eine detaillierte Betrachtung aufgrund des sehr eingeschränkten Griffigkeitsbereiches nicht sinnvoll. Es ist aber der Trend ersichtlich, dass im hohen Griffigkeitsbereich ($\mu_{GT,60} \geq 0,70$) auf LSMA, DA und neuem Waschbeton die Griffigkeitsmesssysteme GripTester und RoadSTAR Reibungsbeiwerte auf dem gleichen Messniveau liefern (siehe Tabelle 9-2 bzw. auch Abbildung 9-2).

9.3.2 Texturabhängigkeit der Differenzen der Reibungsbeiwerte

Die Messsysteme GripTester und RoadSTAR reagieren anscheinend auf einigen Deckschichten unterschiedlich. Dies könnte auf den Unterschied des glatten Messreifens des GripTesters zum gerillten Messreifen des RoadSTAR zurückzuführen sein, da sich bei verschiedenen Makrotexturen eine andere Wasserfilmdicke vor dem Messreifen einstellt. Obwohl in Kapitel 7.2 keine eindeutige Abhängigkeit der Reibungsbeiwerte von der Makrotextur festgestellt werden konnte, ergeben sich, voraussichtlich durch die unterschiedliche Beschaffenheit der Messreifen (Glatt – Längsrillen), verschiedene Griffigkeitsdifferenzen. Zur Überprüfung einer eventuellen Abhängigkeit wurden die Differenzen der Reibungsbeiwerte GripTester 60 km/h und RoadSTAR 60 km/h mit den MPD-Werten von 1265 50-m-Abschnitte gegenübergestellt (von der Waschbetonstrecke Nr. 43 waren leider keine Texturmessdaten vorhanden). In Abbildung 9-1 wurden zusätzlich die vorhin erwähnten auffälligen Strecken farblich hervorgehoben, aber es ließ sich auch hier leider keine signifikante Abhängigkeit von der Makrotextur feststellen. Ein ähnliches Bild ergibt sich trotz einer geringeren Datenmenge auch für den Vergleich der Differenzen GripTester 40 km/h und RoadSTAR 60 km/h mit der Makrotextur. Ein Textureinfluss konnte somit auch bei dieser Analyse nicht festgestellt werden.

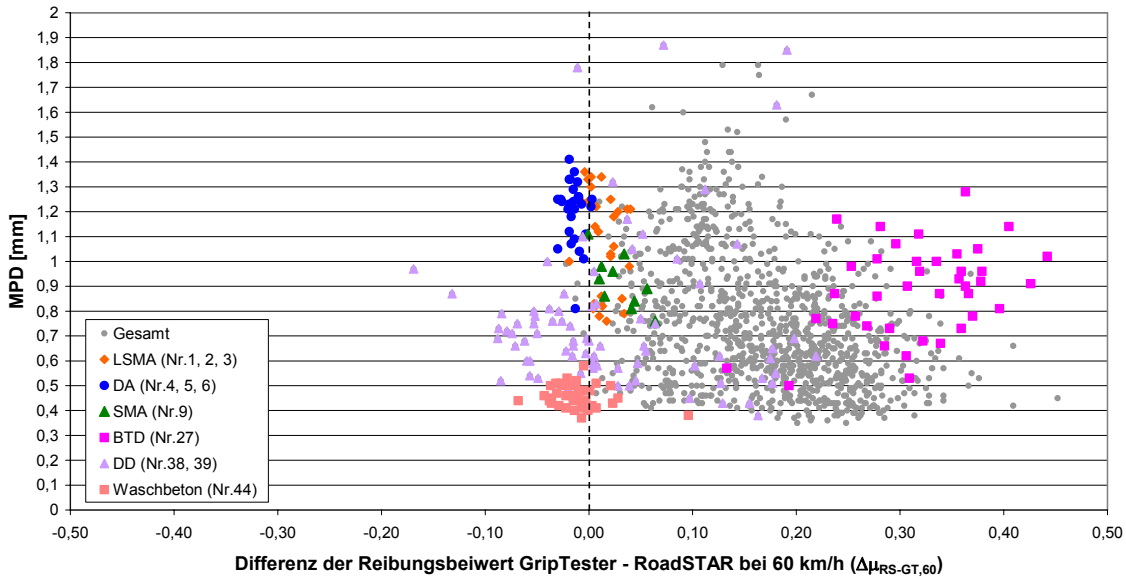


Abbildung 9-1: Textur und Differenzen GripTester – RoadSTAR (50-m-Abschnitte)

9.3.3 Korrelation GripTester 60 km/h – RoadSTAR 60 km/h

Für die Korrelationsuntersuchungen GripTester 60 km/h – RoadSTAR 60 km/h wurden in einem ersten Schritt die 44 Messstreckenmittelwerte aller Deckschichtgruppen betrachtet (siehe Abbildung 9-2). Als Grundlage für die Umrechnungsfunktion sollten drei lineare Regressionsfunktionen (Grau: durch den Ursprung; Blau: eine freie mit dem besten Bestimmtheitsmaß; Grün: eine parallele zur Ausgleichsgeraden y = x) untersucht werden.

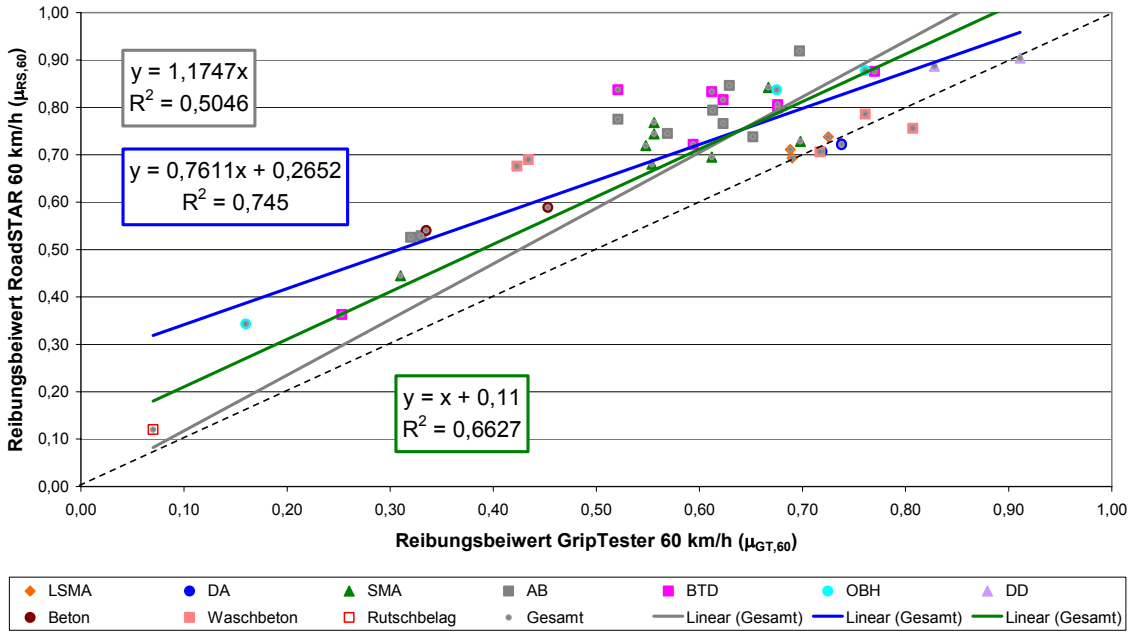


Abbildung 9-2: Korrelation der Messstreckenmittelwerte GripTester – RoadSTAR aller Messstrecken

Mit einer linearen Regressionsfunktion durch den Ursprung (Graue Funktion) konnte nur ein schlechter Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von

$R^2 = 0{,}50$ erreicht werden. Die freie Regressionsfunktion mit dem besten Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0{,}74$ lässt bereits auf einen brauchbaren Zusammenhang schließen. Für eine zur Ausgleichsgeraden y = x parallelen linearen Regressionsfunktion (Grüne Funktion) verschlechterte sich das Bestimmtheitsmaß allerdings auf $R^2 = 0{,}66$.

Wie schon erwähnt, ist deutlich zu sehen, dass die Ergebnisse einiger Deckschichten bzw. innerhalb einer Deckschichtgruppe sich von den übrigen unterscheiden. Dazu gehören die drei lärmmindernden Splittmastixasphalte, drei Drainasphalte, zwei neue Waschbetone, zwei Dünnschichtdecken, ein Splittmastixasphalt, ein Asphaltbeton, zwei bituminöse Tragdeckschicht sowie der „Rutschbelag".

Nach Weglassen dieser 15 auffälligen Messstrecken, konnten für die verbleibenden Messstreckenmittelwerte deutlich bessere Korrelationen erreicht werden (Vergleich Abbildung 9-2 mit Abbildung 9-3). Weiters sind die „Blaue" und „Grüne" Regressionsfunktion fast identisch und weisen ein Bestimmtheitsmaß von über $R^2 = 0{,}90$ auf. Aufgrund dieser guten Korrelation zwischen den Messstreckenmittelwerten von GripTester und RoadSTAR für bestimmte Deckschichtgruppen wird der Weg der Entwicklung einer praktikablen Umrechnungsfunktion weiter verfolgt.

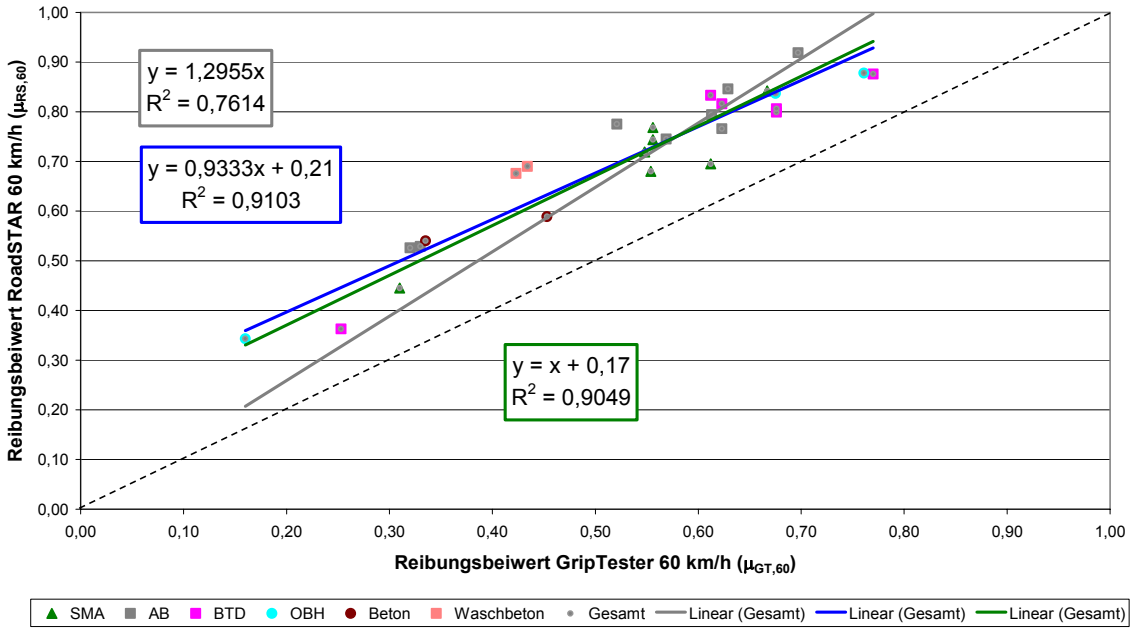


Abbildung 9-3: Korrelation der Messstreckenmittelwerte GripTester – RoadSTAR für SMA, AB, BTD, OBH, Beton und alter Waschbeton

Da in Österreich aber die Abschnittslänge für die Beurteilung des Zustandsindikators Griffigkeit mit 50 m festgelegt wurde, ist es notwendig, eine Korrelation für die 50-m-Mittelwerte zu bestimmen. Dafür wurden vorerst alle n = 1416 Messwertpaare GripTester/RoadSTAR herangezogen. Bei Betrachtung der 50-m-Mittelwerte statt der Messstreckenmittelwerte wird ersichtlich, dass sich die

Bestimmtheitsmaße für die linearen Regressionsfunktionen deutlich verringern. (Vergleich Abbildung 9-2 und Abbildung 9-4). Durch die ergänzenden Messungen zu [6], vor allem im niedrigen Griffigkeitsbereich, verbesserten sich die Korrelationen allerdings wesentlich (Vergleich Abbildung 9-4 mit Abbildung 9-5).

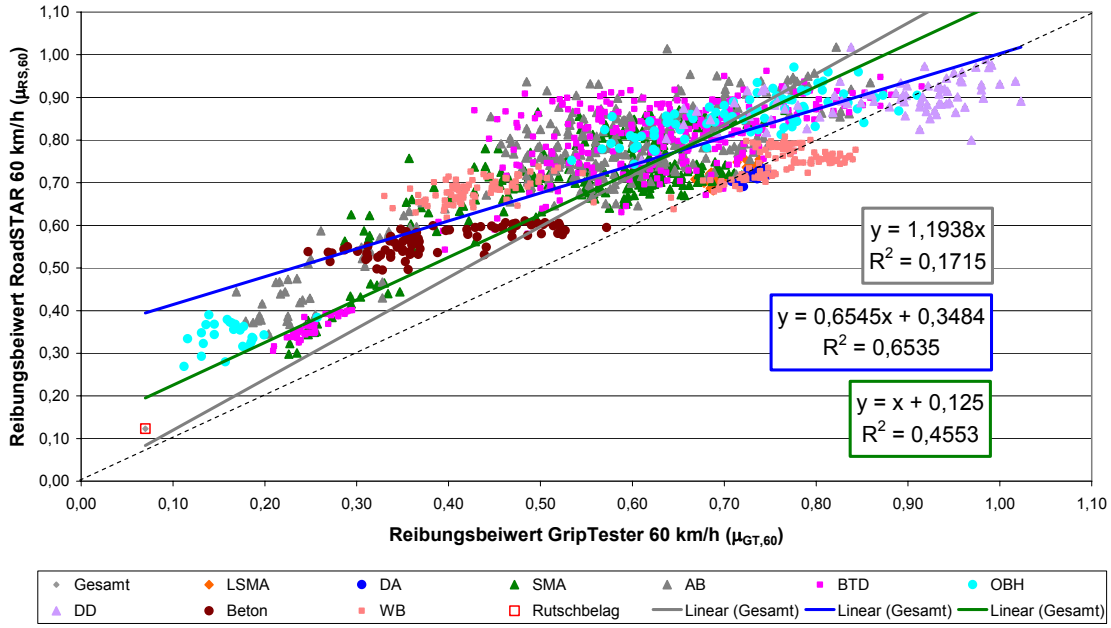


Abbildung 9-4: Neue Korrelation der 50-m-Mittelwerte GripTester – RoadSTAR aller Messstrecken

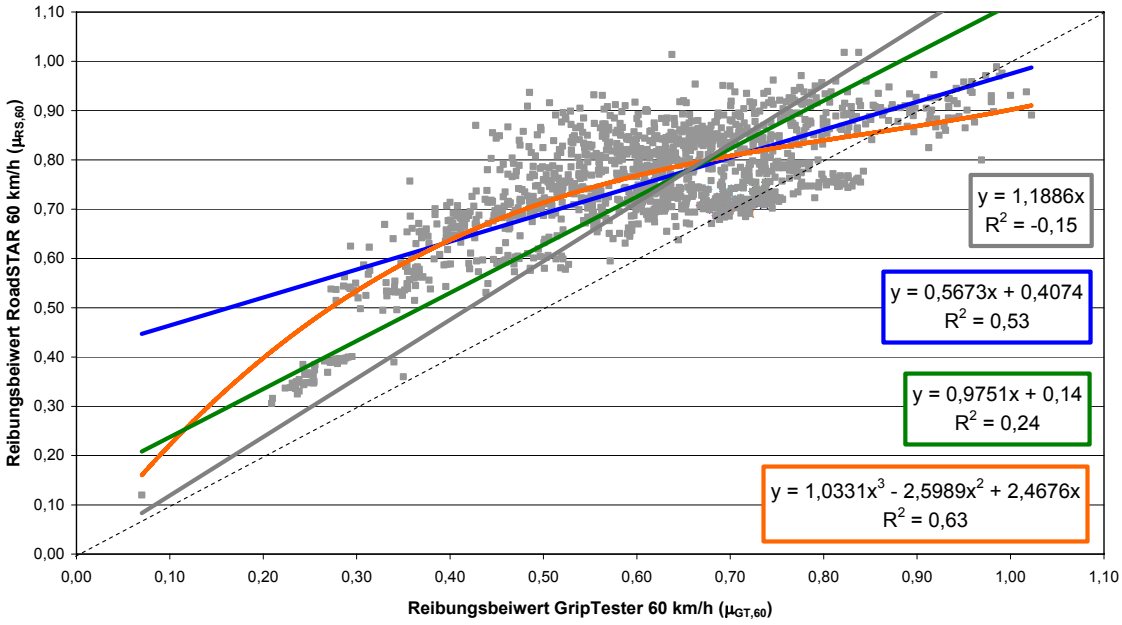


Abbildung 9-5: Alte Korrelation der 50-m-Mittelwerte GripTester – RoadSTAR aller Messstrecken [6]

Gemäß den zuvor gewonnen Erkenntnissen werden für die weiteren Untersuchungen nur die Daten der Deckschichten SMA, AB, BTD, OBH, Beton und alter Waschbeton verwendet und die problematischen Strecken ausgeschieden. Weiters wurden alle Messergebnisse noch nach unplausiblen Daten durchsucht und

dabei weitere zehn 50-m-Abschnitte ausgeschieden. Für diese Deckschichtgruppen konnten für die verbleibenden 1045 50-m-Abschnitte gute Regressionsfunktionen, gefunden werden, welche ähnlich zu den bereits in [6] ermittelten Funktionen sind, aber nun ein deutlich verbessertes Bestimmtheitsmaß aufweisen (Vergleich Abbildung 9-6 mit Abbildung 9-7).

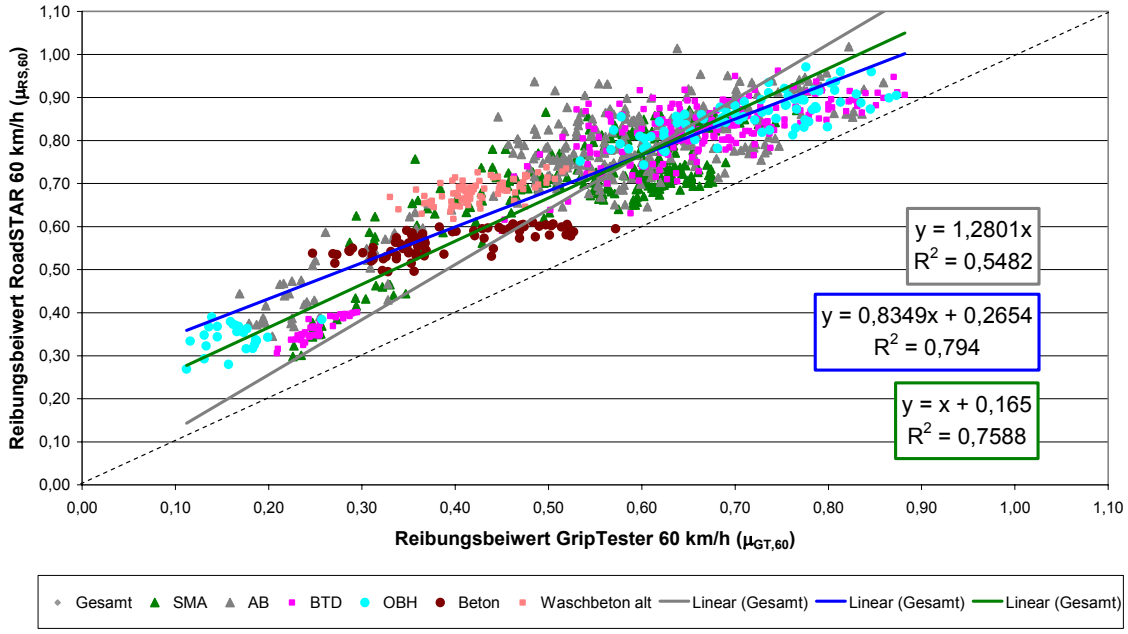


Abbildung 9-6: Neue Korrelation der 50-m-Mittelwerte GripTester – RoadSTAR für SMA, AB, BTD, OBH, Beton und alter Waschbeton

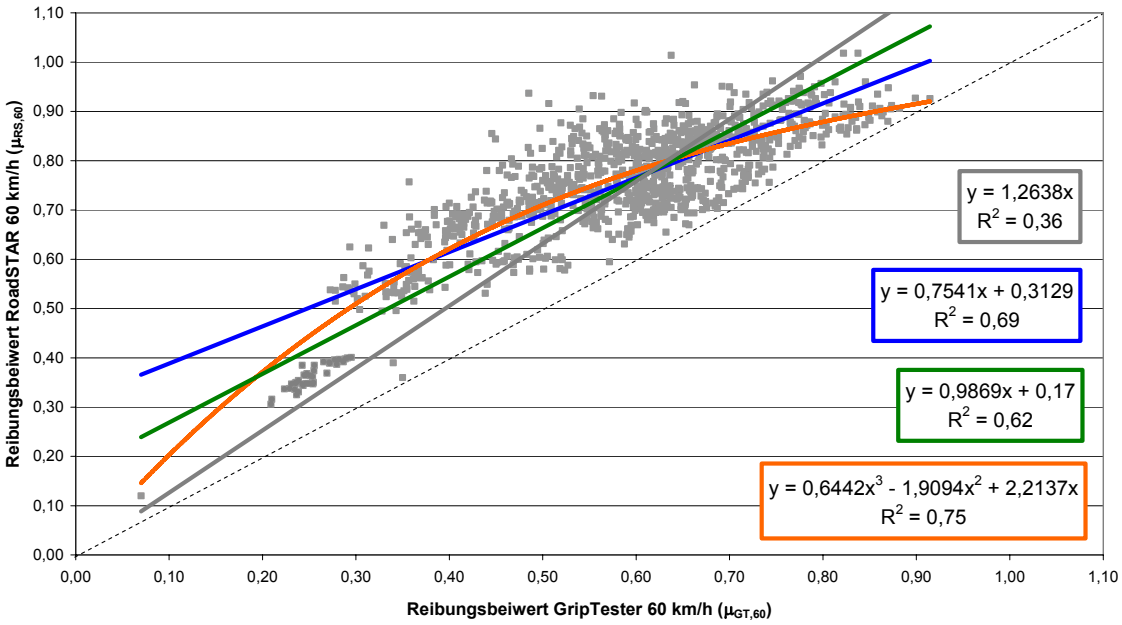


Abbildung 9-7: Alte Korrelation der 50-m-Mittelwerte GripTester – RoadSTAR für SMA, AB, BTD, OBH, DD, Beton und alter Waschbeton [6]

Weiters wurden nun auch nur jene Strecken verglichen, welche zusätzlich auch mit 40 km/h gemessen wurden, um einen direkten Vergleich zwischen den

beiden Messgeschwindigkeiten zu erhalten (siehe Kapitel 9.3.4). Das bedeutete, dass die Deckschichttypen Beton und alter Waschbeton wegfielen. Für die verbleibenden 428 50-m-Abschnitte verbesserten sich die Korrelationen für die Deckschichttypen SMA, AB, BTD und OBH wiederum. Beim Vergleich von Abbildung 9-8 mit Abbildung 9-13 zeigt sich auch sehr gut die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Messwerte des GripTesters wieder.

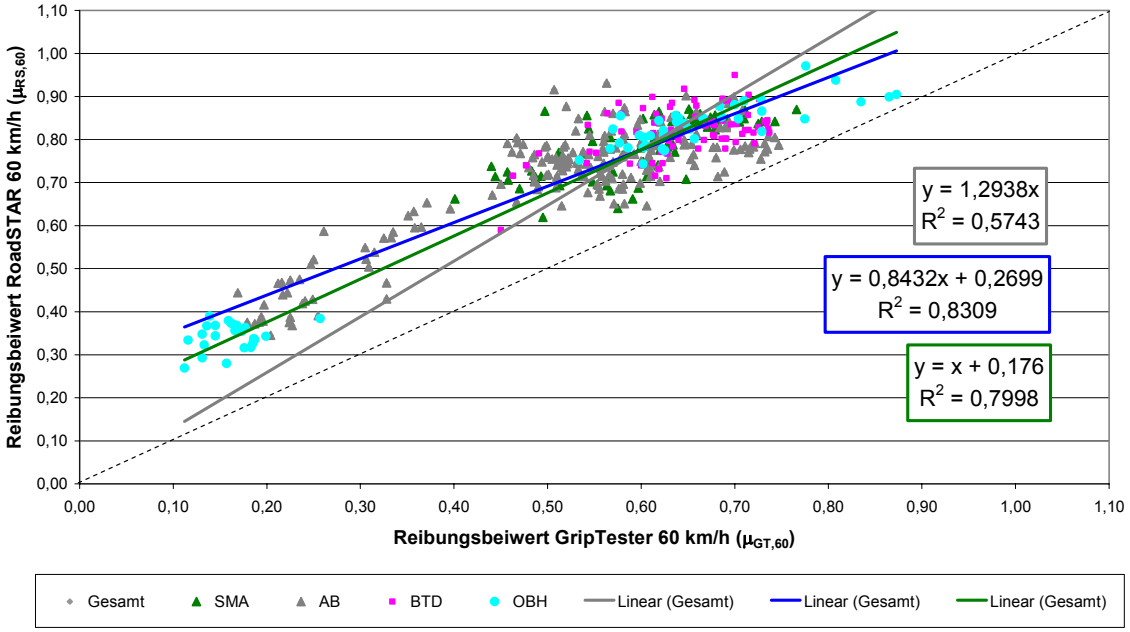


Abbildung 9-8: Korrelation der 50-m-Mittelwerte GripTester – RoadSTAR für SMA, AB, BTD, OBH

Die Deckschichten LSMA, DA, neuer Waschbeton, DD und „Rutschbelag“ werden aufgrund der geringen Datenmenge und des sehr eingeschränkten Griffigkeitsbereiches nicht weiter Untersucht. In [6] konnten schon keine befriedigenden Korrelationen für diese Daten ermittelt werden und es standen keine neueren Vergleichsdaten für diese Deckschichttypen zur Verfügung. Somit wird die Entwicklung einer Umrechnungsfunktion für diese Deckschichten im Rahmen dieser Arbeit auch nicht mehr weiterverfolgt.

9.3.4 Korrelation GripTester 40 km/h – RoadSTAR 60 km/h

Für die Korrelationsuntersuchungen GripTester 40 km/h – RoadSTAR 60 km/h wurden auch zuerst die 23 Messstreckenmittelwerte aller Deckschichtgruppen betrachtet (siehe Abbildung 9-9). Wieder wurden als Basis für die Umrechnungsfunktion drei linearen Regressionsfunktionen (Gelb: durch den Ursprung; Violett: eine freie mit dem besten Bestimmtheitsmaß; Orange: eine parallele zur Ausgleichsgeraden y = x) untersucht. Mit einer linearen Regressionsfunktion durch den Ursprung (Gelbe Funktion) konnte eine Korrelation mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,75$ erreicht werden. Die freie Regressionsfunktion (Violette Funktion) mit dem besten Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,82$ zeigt einen guten Zusammenhang. Für eine zur Ausgleichsgeraden y = x

parallele lineare Regressionsfunktion (Orange Funktion) liegt das Bestimmtheitsmaß mit $R^2 = 0,79$ nur knapp darunter.

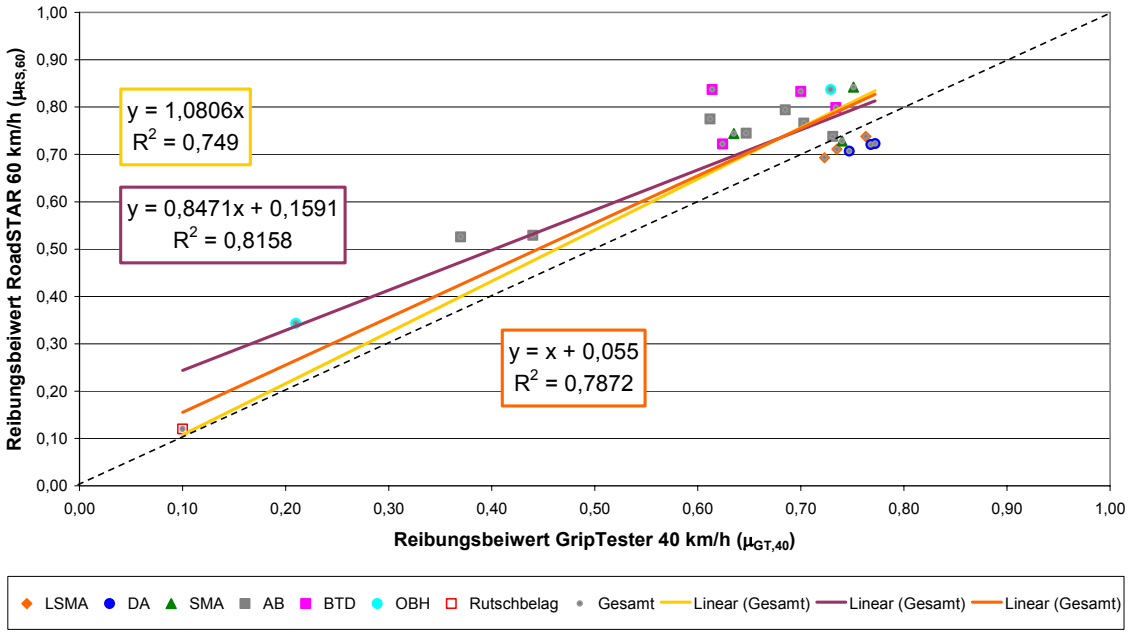


Abbildung 9-9: Korrelation der Messstreckenmittelwerte GripTester – RoadSTAR aller Messstrecken

Auch hier fallen wieder dieselben Messstrecken (siehe Kapitel 9.3.3) auf. Nach Ausschluss der Messstrecken Nr. 1 bis Nr. 6, Nr. 9, Nr.14, Nr. 27, Nr. 28 und Nr. 45, konnte für die verbleibenden 12 Messstreckenmittelwerte (Deckschichten SMA, AB, BTD, OBH) deutlich bessere Korrelationen erreicht werden (vergleich Abbildung 9-9 und Abbildung 9-10).

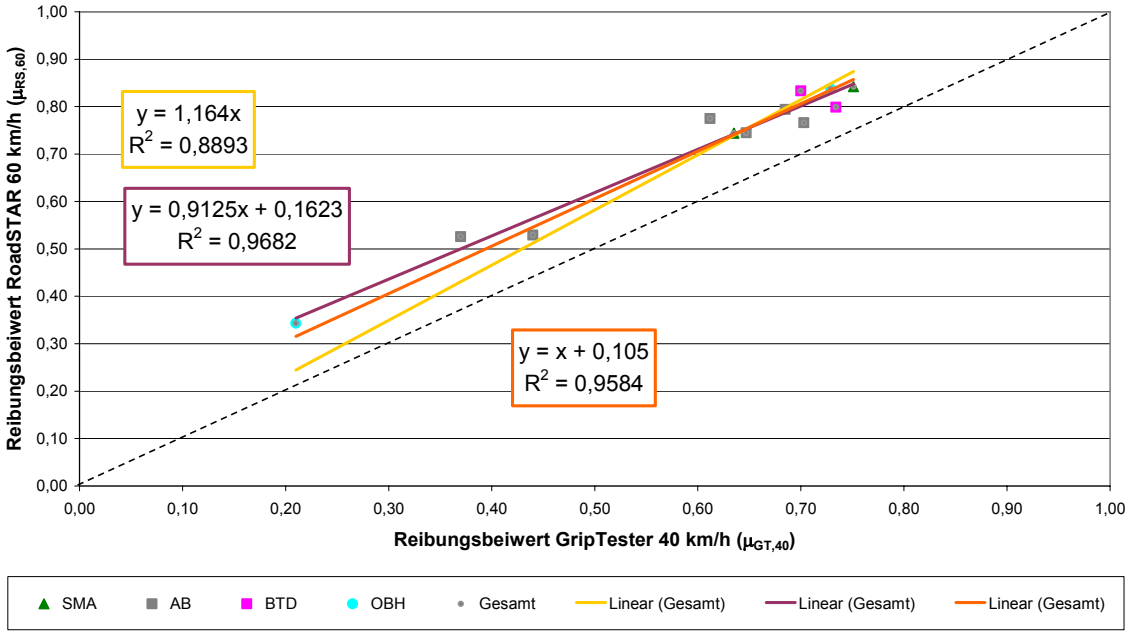


Abbildung 9-10: Korrelation der Messstreckenmittelwerte GripTester – RoadSTAR für SMA, AB, BTD und OBH

Die „Violette“ und „Orange“ Regressionsfunktion sind nun annähernd gleich und weisen ein Bestimmtheitsmaß von ca. $R^2 = 0,96$ auf. Trotz einer geringeren Datenmenge scheint es auf den ersten Blick, als würden sich die Messergebnisse GripTester 40 km/h gleich gut bzw. sogar besser mit den Messergebnissen RoadSTAR 60 km/h vergleichen lassen. (Vergleich Abbildung 9-3 mit Abbildung 9-10).

Daher wird aufgrund dieser verbesserten Korrelation im Gegensatz zum Forschungsauftrag [6] doch auch eine Umrechnung über Reibungsbeiwerte GripTester 40 km/h in Erwägung gezogen und daher auch die Korrelation für die 50-m-Abschnitte untersucht. Dafür standen auf den 23 Messstrecken insgesamt n = 592 Vergleichsabschnitte zur Verfügung. Bei Betrachtung der 50-m-Mittelwerte aller Deckschichttypen statt der Messstreckenmittelwerte wird ersichtlich, dass sich das Bestimmtheitsmaß für die linearen Regressionsfunktionen wiederum deutlich verringert (Vergleich Abbildung 9-9 und Abbildung 9-11). Aber durch die ergänzenden Messungen verbesserten sich nun die Korrelationen maßgeblich im Vergleich zur früheren Auswertung (Vergleich Abbildung 9-11 mit Abbildung 9-12).

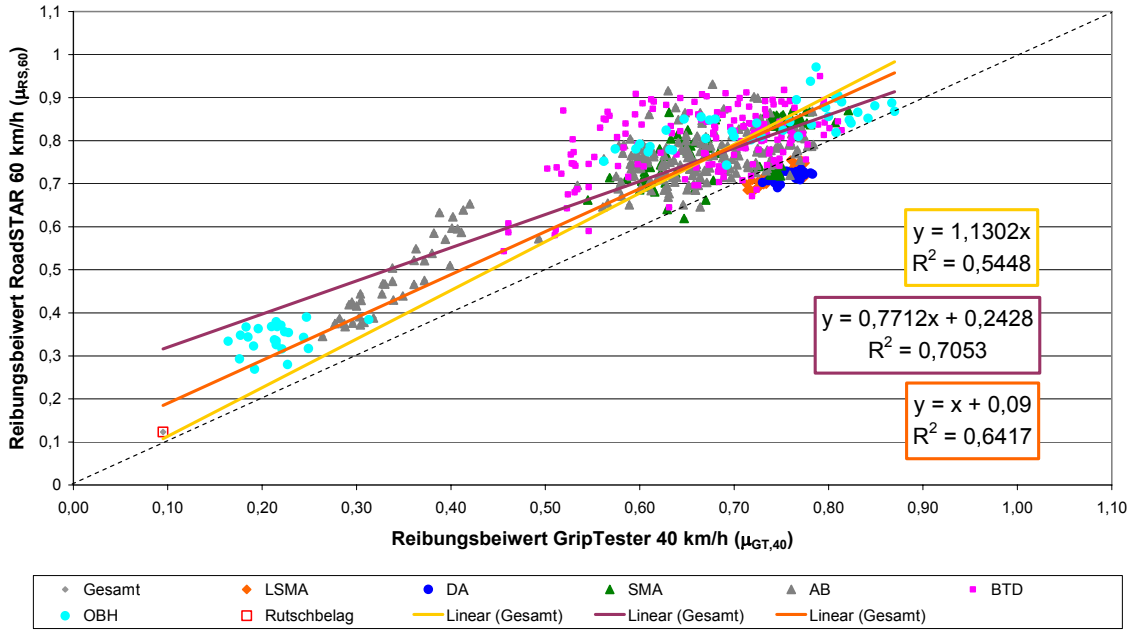


Abbildung 9-11: Neue Korrelation der 50-m-Mittelwerte GripTester – RoadSTAR aller Messstrecken

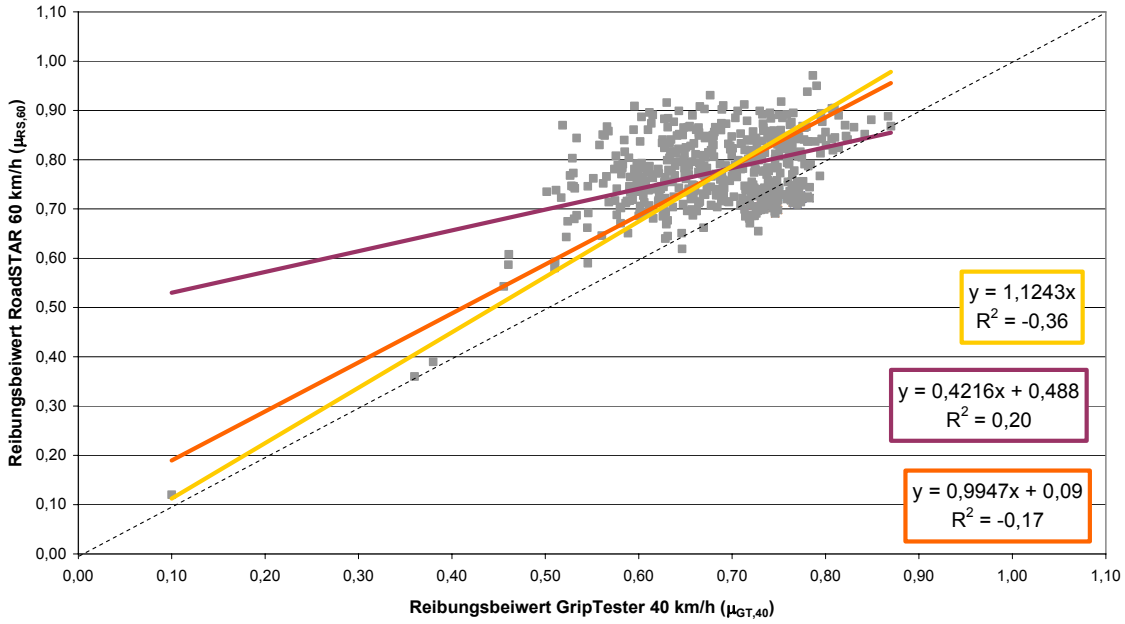


Abbildung 9-12: Alte Korrelation der 50-m-Mittelwerte GripTester – RoadSTAR aller Messstrecken [6]

Als nächstes wurden wiederum nur die Deckschichten SMA, AB, BTD und OBH betrachtet und drei weitere unplausible 50-m-Abschnitte ausgeschieden. Für diese Deckschichtgruppen konnte für die verbleibenden 428 50-m-Abschnitte eine parallel zur Ausgleichsgeraden y = x liegende Regressionsfunktion gefunden werden. Diese ist wieder identisch zu der früheren Auswertung [6], weist nun aber ein deutlich verbessertes und brauchbares Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,86$ statt nur $R^2 = 0,33$ auf (Vergleich Abbildung 9-13 mit Abbildung 9-14).

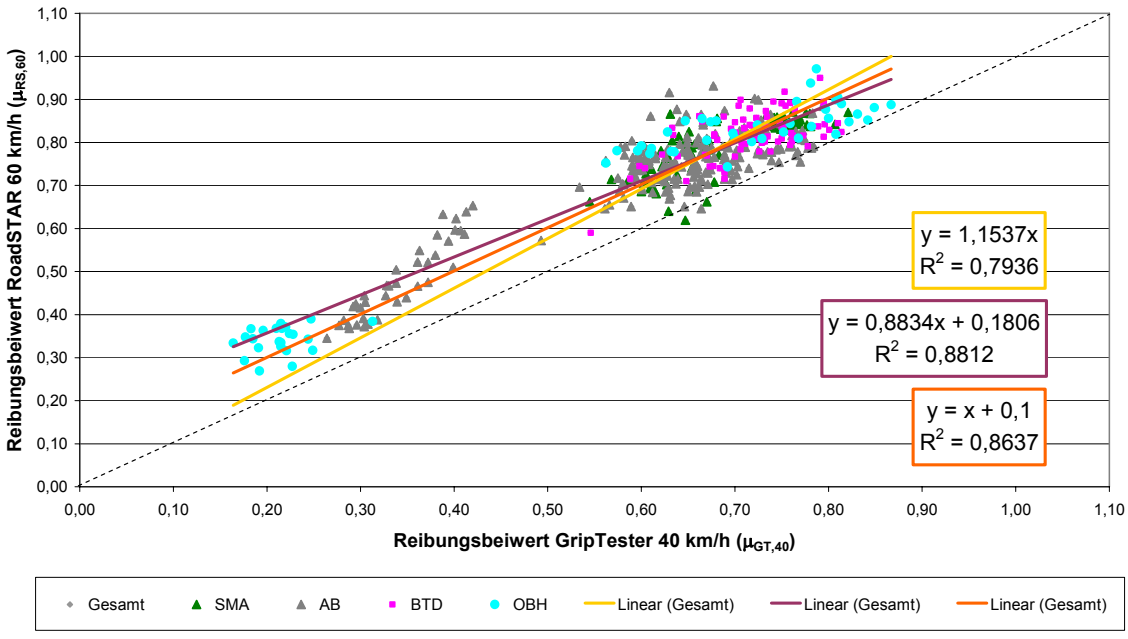


Abbildung 9-13: Neue Korrelation der 50-m-Mittelwerte GripTester – RoadSTAR für SMA, AB, BTD und OBH

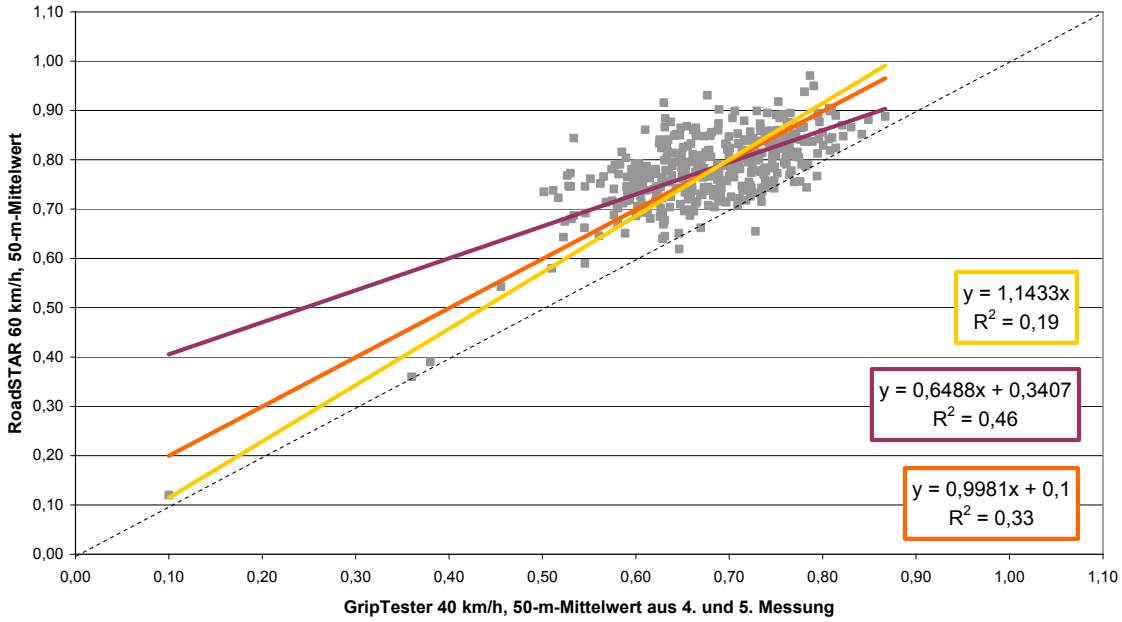


Abbildung 9-14: Alte Korrelation der 50-m-Mittelwerte GripTester – RoadSTAR für SMA, AB, BTD und OBH [6]

Auch bei Betrachtung der 50-m-Mittelwerte konnten mit den GripTester bei 40 km/h nun gute Korrelationen zum RoadSTAR bei 60 km/h hergestellt werden, welche sogar besser sind als bei gleichen Messgeschwindigkeiten (Vergleich Abbildung 9-8 mit Abbildung 9-13). Allerdings wurden hier keine Dünnschicht-, Beton- und Waschbetondecken berücksichtigt.

Wie schon erwähnt, werden für die Deckschichten LSMA, DA und „Rutschbelag“ aufgrund der geringen Datenmenge und des sehr eingeschränkten Griffigkeitsbereiches keine weiteren Analysen durchgeführt.

9.3.5 Zusammenfassende Beurteilung des Vergleiches der Reibungsbeiwerte GripTester – RoadSTAR

Aufgrund des gleichen Messprinzips und des annähernd gleichen Schlupfbereiches der Messreifen von GripTester und RoadSTAR wurde nach einem linearen Zusammenhang zwischen den Reibungsbeiwerten der beiden Griffigkeitsmesssysteme gesucht. Auch wenn mit anderen Regressionsfunktionen (z.B. polynomisch) eine etwas bessere Korrelation erreicht werden könnte, ist ein nichtlinearer Zusammenhang physikalisch nicht erklärbar.

Beim Vergleich der Reibungsbeiwerte GripTester 60 km/h und RoadSTAR 60 km/h konnte für die Deckschichtgruppen SMA, AB, BTD, OBH, Beton und alter Waschbeton eine lineare Funktion abgeleitet werden, welche als Vorschlag für eine Umrechnungsfunktion im Bereich $0{,}10 \leq \mu_{GT,60} \leq 0{,}90$ herangezogen werden kann.

Auf den Deckschichten LSMA, DA und neuer Waschbeton verhalten sich die beiden Griffigkeitsmesssysteme allerdings anders. Hier war der Trend feststellbar, dass GripTester und RoadSTAR annähernd auf demselben Griffigkeitsniveau messen. Aufgrund der geringen Vergleichsdatenmenge und des eingeschränkten

Griffigkeitsbereiches ($0,65 \leq \mu_{GT,60} \leq 0,85$) konnte aber für diese Deckschichtgruppen kein eindeutiger Zusammenhang abgeleitet werden. Für diese Deckschichten müssen vor allem im niedrigen Griffigkeitsbereich noch Vergleichsmessungen durchgeführt werden, um eine Umrechnungsfunktion entwickeln bzw. den Trend bestätigen zu können.

Beim Vergleich der Reibungsbeiwerte GripTester 40 km/h und RoadSTAR 60 km/h konnte für die Deckschichtgruppen SMA, AB, BTD und OBH ebenfalls eine lineare Funktion für den Bereich $0,15 \leq \mu_{GT,40} \leq 0,85$ gefunden werden, welche für eine Umrechnungsfunktion sehr brauchbar ist. Weiters zeigten die Ergebnisse sogar, dass auf denselben Messabschnitten die Korrelation der Reibungsbeiwerte GripTester – RoadSTAR bei einer Geschwindigkeit des GripTesters von 40 km/h besser war als mit 60 km/h (Vergleich Abbildung 9-8 mit Abbildung 9-13). Anhand der aktuellen Ergebnisse kann die im früheren Forschungsauftrag [6] getroffene Aussage relativiert werden, dass ein schlechterer Zusammenhang zwischen den Reibungsbeiwerten des GripTesters bei 40 km/h und jenen des RoadSTAR bei 60 km/h aufgrund unterschiedlicher Schlupfgeschwindigkeiten zu erwarten ist.

Prinzipiell konnte durch die ergänzenden Griffigkeitsmessungen, vor allem im niedrigen Griffigkeitsbereich, die Korrelation zwischen den Messsystemen GripTester und RoadSTAR deutlich verbessert werden. Somit ist die Brauchbarkeit der ermittelten Regressionsfunktionen – nach Eliminierung der Daten von den Dünnschichtdecken – nun wesentlich besser abgesichert.

Die Ergebnisse der gegenständlichen Untersuchungen ergaben im Vergleich zum PIARC Ringversuch verbesserte Korrelationen zwischen den Reibungsbeiwerten von GripTester und RoadSTAR. Das Bestimmtheitsmaß hat sich nämlich von $R^2 = 0,71$ (siehe Kapitel 8.2.4, Seite 161) auf $R^2 = 0,80$ bzw. 0,86 deutlich verbessert, obwohl sogar kürzere Messabschnittslängen gebildet wurden (50 m statt 75 m) und die Messungen nicht am selben Tag und unmittelbar hintereinander statt fanden.

9.4 Vergleich mittels International Friction Index (IFI)

Anhand der aktuellen Messdaten von GripTester und RoadSTAR sollte nun die im PIARC Ringversuch entwickelte Harmonisierungsformel (siehe Kapitel 8.2) getestet werden. Dies dient einerseits dazu, die Brauchbarkeit des IFI für einen Vergleich zu überprüfen, andererseits um eventuell weitere Erkenntnisse für eine zukünftige Umrechnungsfunktion zu erhalten. Theoretisch müssten durch die Harmonisierung beide Messgeräte den selben Schätzwert für die wahre Griffigkeit (F60) liefern. Das bedeutet, eine lineare Regression der F60-Werte von GripTester und RoadSTAR müsste durch den Ursprung gehen und entlang der Ausgleichsgeraden $y = x$ verlaufen. Anzumerken ist jedenfalls, dass die im PIARC Ringversuch angegebenen Kalibrierkonstanten a und b für die Textur nicht von der aktuellen Texturmesseinrichtung des RoadSTAR abgeleitet wurden.

9.4.1 Korrelation IFI GripTester 60 km/h – RoadSTAR 60 km/h

Für den Vergleich der F60-Werte von GripTester und RoadSTAR bei einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h konnten die Daten von 1264 50-m-Abschnitten herangezogen werden. Die mittlere Differenz der F60-Werte war erwartungsgemäß fast Null und betrug für die 41 Messstrecken $\Delta F60_{RS-GT}$ = -0,006 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{\Delta F60}$ = 0,0458. Wie in Abbildung 9-15 zu sehen ist, liegen die linearen Regressionsfunktionen nahe der Ausgleichsgeraden y = x, aber es ist noch eine gewisse „Schiefstellung“ vorhanden. Im Vergleich zur Abbildung 9-4 kann man aber schon erkennen, das die F60-Werte von GripTester und RoadSTAR besser übereinstimmen als die jeweiligen Reibungsbeiwerte. Die Streuungen sind viel geringer und dadurch die Bestimmtheitsmaße mit R^2 = 0,76 und 0,81 wesentlich höher.

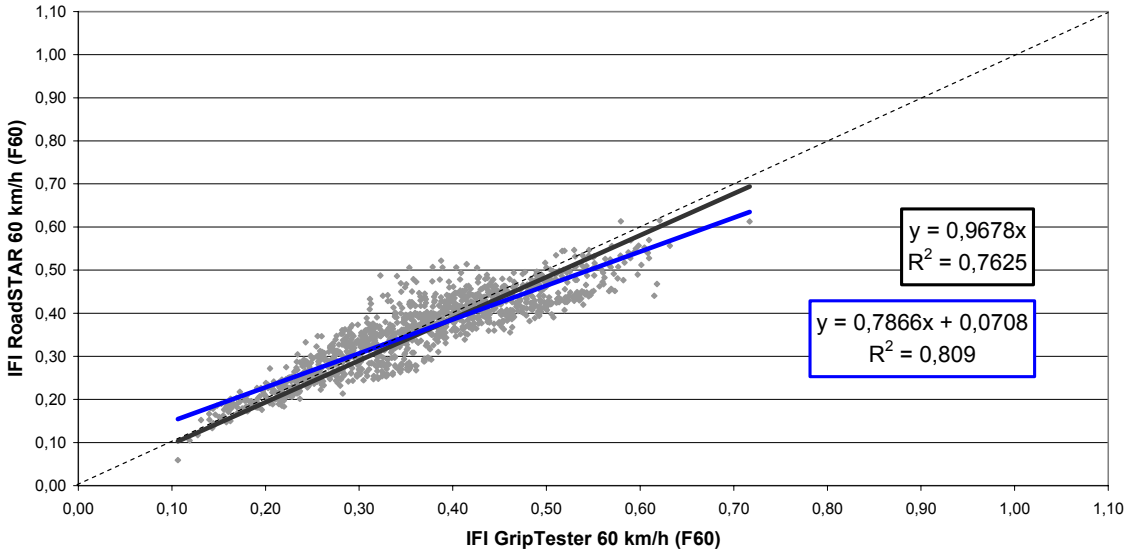


Abbildung 9-15: Korrelation der F60-Werte GripTester 60 km/h – RoadSTAR 60 km/h aller Messstrecken

Nun wurden wiederum die problematischen Messstrecken ausgeschieden und mittels der restlichen 27 Messstrecken ergab sich für die 974 50-m-Abschnitte eine mittlere Differenz der F60-Werte von $\Delta F60_{RS-GT}$ = 0,005 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{\Delta F60}$ = 0,0319. Die Korrelationen verbesserten sich auch wesentlich und es ergab sich die erwartete lineare Regressionsfunktion durch den Ursprung (Schwarze Funktion in Abbildung 9-16).

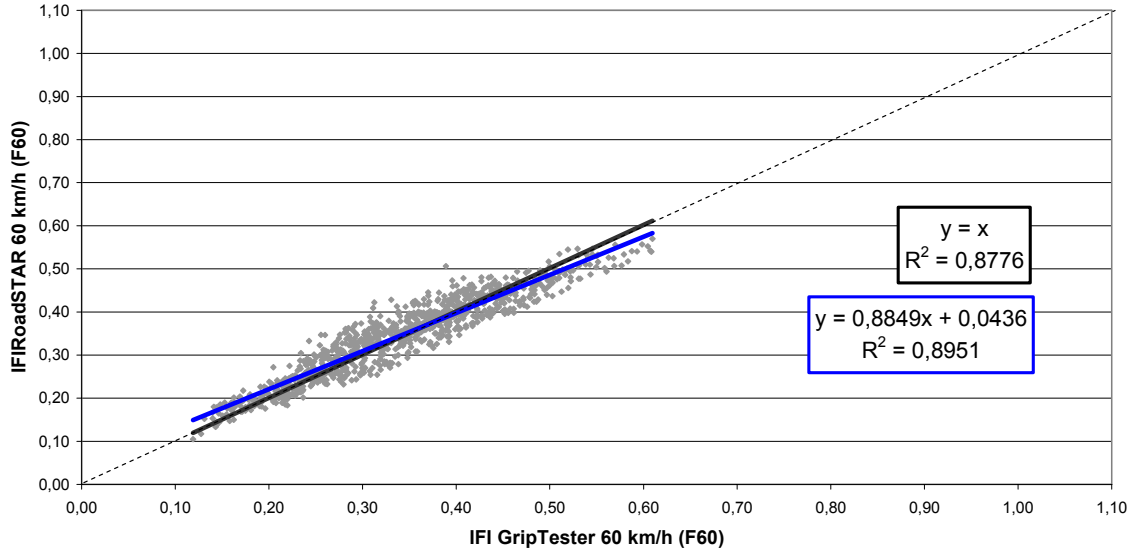


Abbildung 9-16: Korrelation der F60-Werte GripTester 60 km/h – RoadSTAR 60 km/h für SMA, AB, BTD, OBH, Beton und alter Waschbeton

9.4.2 Korrelation IFI GripTester 40 km/h – RoadSTAR 60 km/h

Der Vergleich der F60-Werte bei unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten von GripTester 40 km/h und RoadSTAR 60 km/h enthielt die Daten von 587 50-m-Abschnitten. Die mittlere Differenz der F60-Werte wich diesmal von Null ab und betrug für die 23 Messstrecken $\Delta F60_{RS-GT}$ = -0,02 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{\Delta F60}$ = 0,0408. Zusätzlich wichen auch hier die linearen Regressionsfunktionen von der Ausgleichsgeraden y = x ab. Beim Vergleich von Abbildung 9-17 und Abbildung 9-11 ist aber wieder eine bessere Übereinstimmung der F60-Werte als der Reibungsbeiwerte von GripTester und RoadSTAR ersichtlich.

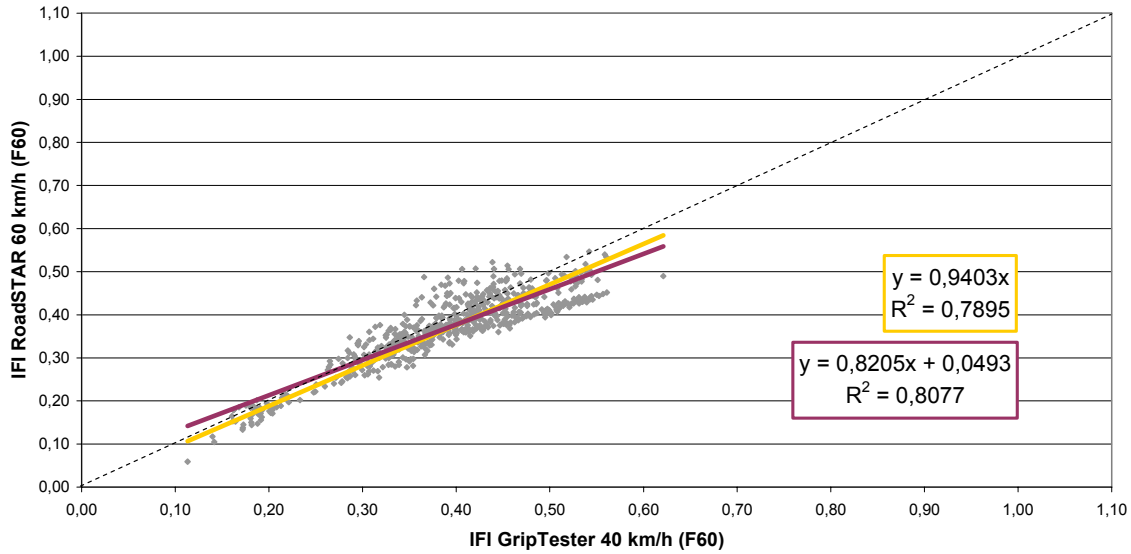


Abbildung 9-17: Korrelation der F60-Werte GripTester 40 km/h – RoadSTAR 60 km/h aller Messstrecken

Nach Ausscheiden der problematischen Messstrecken ergab sich für die übrigen 12 Messstrecken für die 423 50-m-Abschnitte eine mittlere Differenz der F60-Werte von $\Delta F60_{RS-GT}$ = -0,014 mit einer Standardabweichung von $\sigma_{\Delta F60}$ = 0,0256. Die Korrelationen verbesserten sich auch deutlich und die beiden linearen Regressionsfunktionen sind fast deckungsgleich. Allerdings weichen die Steigungen von der Ausgleichsgeraden noch immer etwas ab (siehe Abbildung 9-18).

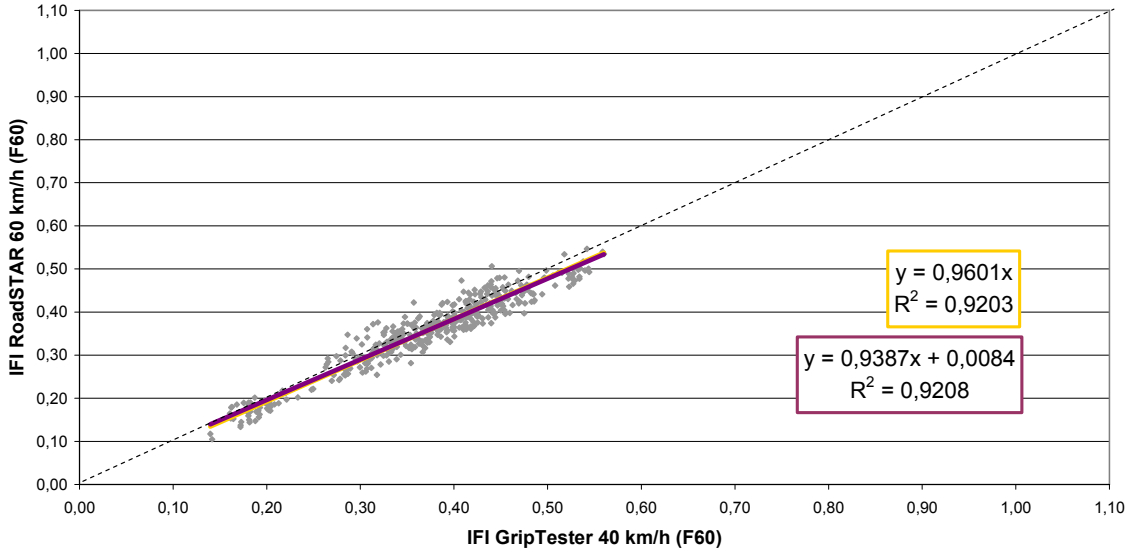


Abbildung 9-18: Korrelation der F60-Werte GripTester 40 km/h – RoadSTAR 60 km/h für SMA, AB, BTD, OBH

9.4.3 Zusammenfassende Beurteilung des Vergleichs mittels IFI

Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass das Modell für den IFI im Moment nicht für die Beurteilung von Deckschichten aus DA, LSMA und Waschbeton geeignet ist. Dazu muss aber angemerkt werden, dass diese Deckschichten im damaligen PIARC Versuchsprogramm auch nicht enthalten waren und somit bei der Harmonisierung nicht berücksichtigt wurden.

Durch Miteinbeziehung der Makrotextur konnte durch Gegenüberstellung der F60-Werte die Korrelation zwischen GripTester und RoadSTAR bei 60 km/h von R^2 = 0,76 auf R^2 = 0,88 und bei 40 km/h von R^2 = 0,86 auf R^2 = 0,92 verbessert werden. Auf den ersten Blick ist anzunehmen, dass zur Berechnung von F60 die Reibungsbeiwerte GripTester bei 40 km/h besser geeignet wären, allerdings war hier immer eine leichte Abweichung von der Ausgleichsgeraden y = x zu sehen.

Theoretisch wäre also eine Umrechnung der Reibungsbeiwerte GripTester über den IFI auf Reibungsbeiwerte RoadSTAR möglich ($\mu_{GT} \rightarrow F60_{GT} \approx F60_{RS} \rightarrow \mu_{RS}$). Durch diese doppelte bzw. dreifache Umrechnung würde man aber aufgrund der vorhandenen Bestimmtheitsmaße auch keine exakteren Resultate erhalten als bei einer direkten Betrachtung der Reibungsbeiwerte.

Weiters wäre diese Vorgehensweise im Moment auch nicht realisierbar, da bei Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester keine kontinuierliche Makrotexturmessung

erfolgt. Der GripTester müsste also noch mit einer Texturmesseinrichtung ergänzt werden. Außerdem steht der Parameter zur Beschreibung der Makrotextur (MPD) international zur Diskussion, da er die vorhandene Textur nicht ausreichend genau beschreibt. In diesem Bereich ist also noch weiterer Forschungsbedarf notwendig, der nicht Gegenstand dieser Arbeit war.

Eine Möglichkeit wäre, als Ergänzung zu den GripTester-Messungen die mittlere Texturtiefe (MTD) mit dem Sandfleckverfahren zu bestimmen. Auf 11 Messstrecken (Nr. 13, 22, 27, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 38, 39) wurden daher punktuell an 54 Stellen die mittleren Texturtiefen ermittelt (siehe Kapitel 7.2) und anhand der MTD-Werte die F60-Werte berechnet. In Abbildung 9-19 ist die Korrelation der F60-Werte von GripTester und RoadSTAR dargestellt. Hier konnte zwar eine sehr gute Regressionsfunktion erhalten werden, allerdings ist die Datenmenge sehr gering und der Zusammenhang müsste daher durch weitere Vergleichsmessungen bestätigt werden.

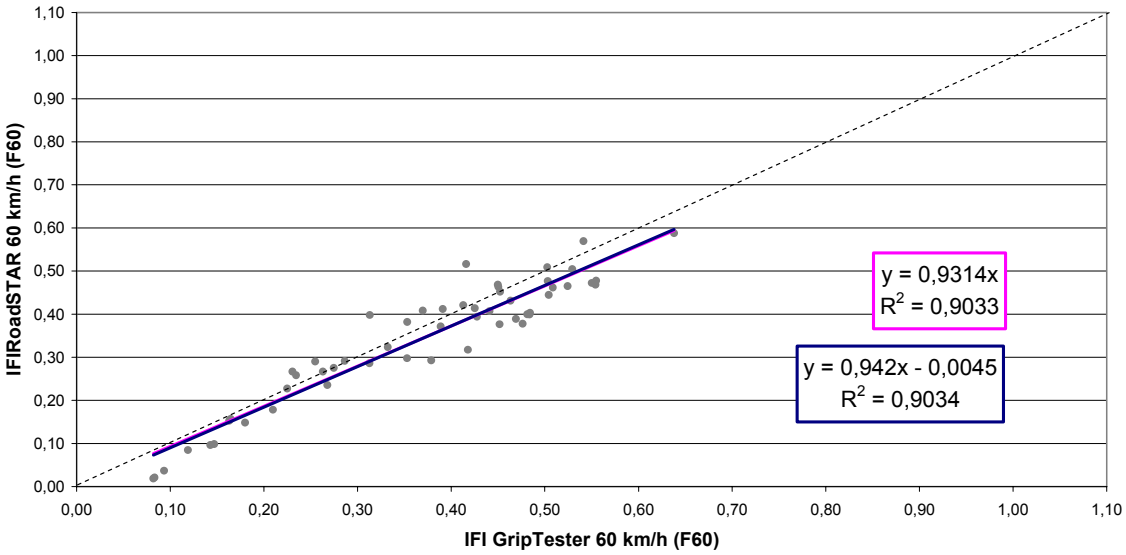


Abbildung 9-19: Korrelation der F60-Werte GripTester 60 km/h – RoadSTAR 60 km/h mit MTD

Für den praktischen Einsatz des GripTesters im Zugbetrieb wäre diese zusätzliche Ermittlung der mittleren Texturtiefe mit dem Sandfleckverfahren allerdings eine wesentliche Einschränkung, da die Vorteile (Zeitersparnis, kontinuierliche Streckenerfassung) des schnell fahrenden Griffigkeitsmesssystems durch Kombination mit einem punktuellen und stationären Verfahren wieder aufgehoben würden. Für den Schiebebetrieb wären diese ergänzenden Messungen aber durchaus denkbar.

Zusammenfassend wird die Entwicklung einer Umrechnungsfunktion von Reibungsbeiwerten GripTester auf Reibungsbeiwerte RoadSTAR über das PIARC-Modell (IFI) nicht weiterverfolgt und auch nicht empfohlen. Vorallem weil der IFI in Österreich auch kein angewandter Zustandsindikator für das Merkmal Griffigkeit ist.

9.5 Vergleich mittels European Friction Index (EFI)

Aufgrund der nicht zufriedenstellenden Ergebnisse beim HERMES Projekt (siehe Kapitel 8.4) wird auf die Anwendung des EFI bzw. SRI für den Vergleich der aktuellen Daten von GripTester und RoadSTAR verzichtet, da keine Verbesserung zum PIARC Ringversuch erreicht wurde.

9.6 Umrechnungsfunktion GripTester – RoadSTAR

9.6.1 Deckschichten SMA, AB, BTD, OBH und Beton

Anhand der in Kapitel 9.3 ermittelten Regressionsfunktionen und mittleren Differenzen der Reibungsbeiwerte von GripTester und RoadSTAR konnte eine brauchbare lineare Umrechnungsfunktion für die Deckschichtgruppen SMA, AB, BTD und OBH gefunden werden (siehe Formel 9-1), welche prinzipiell auch für Betondecken gilt. Mit dieser ist es möglich, Reibungsbeiwerte GripTester ($\mu_{GT,60}$ bzw. $\mu_{GT,40}$) in einem Griffigkeitsbereich von $0{,}20 \leq \mu_{GT,60} \leq 0{,}80$ auf Reibungsbeiwerte RoadSTAR (μ_{RS}) umzurechnen. Außerhalb dieses Griffigkeitsbereiches kann im Allgemeinen auf eine Umrechnung verzichtet werden, da es sich dann um eine eindeutig sehr schlechte bzw. sehr gute Griffigkeit handelt.

$$\mu_{RS} = \mu_{GT,60} + 0{,}18 = \mu_{GT,40} + 0{,}10 \qquad \textbf{Formel 9-1}$$

Diese neue Formel unterscheidet sich nur geringfügig von jener, welche in [6] angegeben wurde. Es erhöhte sich nur der konstante Faktor von +0,17 auf +0,18. Zusätzlich wurde die Formel um die Möglichkeit erweitert, auch Reibungsbeiwerte GripTester bei 40 km/h auf Reibungsbeiwerte RoadSTAR bei 60 km/h mit dem konstanten Faktor +0,10 umzurechnen.

9.6.2 Deckschichten DA, LSMA, DD und Waschbeton

Für diese Deckschichttypen konnte aufgrund der geringen und zum Teil unplausiblen Daten keine Umrechnungsfunktion ermittelt werden. Im hohen Griffigkeitsbereich ist aber der Trend ersichtlich, dass der GripTester mit 60 km/h auf neuen Waschbeton-, Drainasphalt- und LSMA-Deckschichten Ergebnisse auf dem selben Wertniveau wie der RoadSTAR bei 60 km/h liefert.

9.6.3 Vertrauensbereich der Umrechnungsfunktion

Für die vorgeschlagene Umrechnungsfunktion gemäß Formel 9-1 wurde der einseitige untere und zweiseitige 95%-Vertrauensbereich (siehe Kapitel 6.2.14) für einen einzelnen 50-m-Mittelwert getrennt für die beiden Messgeschwindigkeiten des GripTesters (40 km/h und 60 km/h) ermittelt und in Abbildung 9-20 und Abbildung 9-21 dargestellt.

Aufgrund der großen Vertrauensbereiche kann die Umrechnungsfunktion gemäß Formel 9-1 trotz der guten Bestimmtheitsmaße von R^2 = 0,80 bzw. 0,86 nur für eine Abschätzung von Reibungsbeiwerten RoadSTAR über gemessene Reibungsbeiwerte GripTester herangezogen werden. Allerdings kann man durch Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester anhand der unteren Vertrauensgrenzen ein gewisses Mindestniveau der Griffigkeit voraussagen, welches der RoadSTAR messen würde.

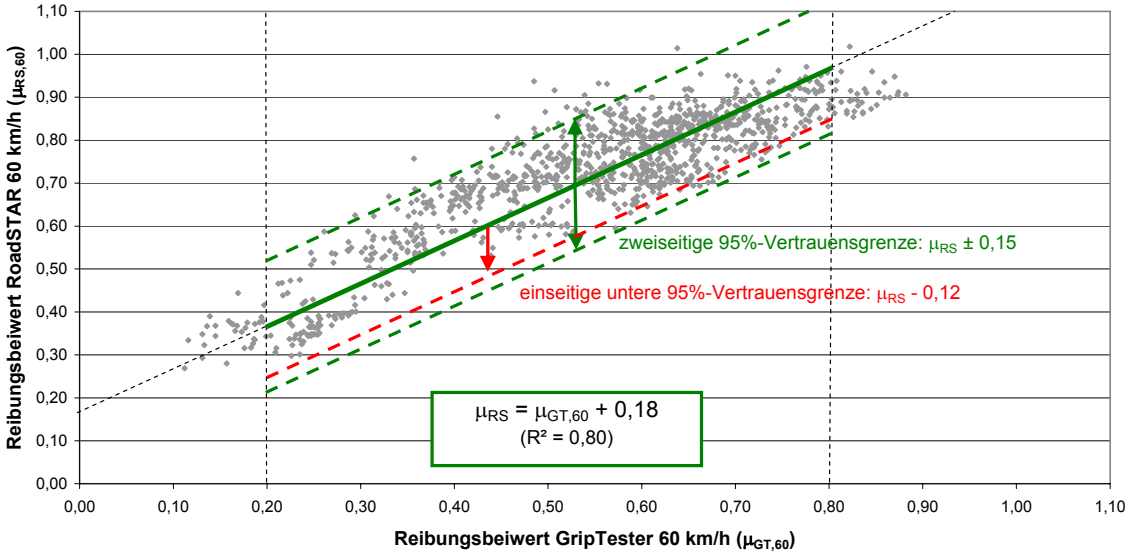


Abbildung 9-20: Umrechnungsfunktion für Reibungsbeiwerte (50-m-Mittelwerte) GripTester 60 km/h – RoadSTAR 60 km/h für SMA, AB, BTD, OBH und Beton

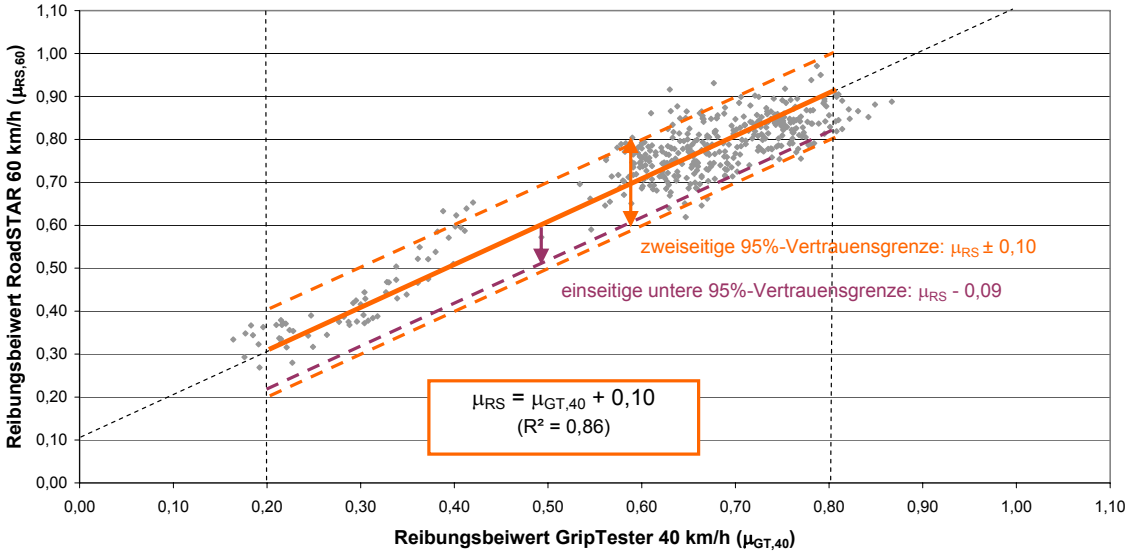


Abbildung 9-21: Umrechnungsfunktion für Reibungsbeiwerte (50-m-Mittelwerte) GripTester 40 km/h – RoadSTAR 60 km/h für SMA, AB, BTD, OBH und Beton

10 Praktischer Einsatz des GripTesters in Österreich

Wie schon im Kapitel 4.1.7 erwähnt, wurde für das Griffigkeitsmesssystem RoadSTAR im Jahr 1996 bereits ein Bewertungshintergrund für das österreichische Bundesstraßennetz entwickelt. Dazu wurden mehrere Messkampagnen durchgeführt, um die Griffigkeit auf dem gesamten Autobahn-, Schnellstraßen- und Bundesstraßennetz zu messen Für das Messsystem GripTester wäre es in einem vernünftigen Zeitraum nicht möglich, ein derart umfangreiches Messprogramm durchzuführen, um einen Bewertungshintergrund nach dem selben Verfahren zu erstellen, da die Tagesmessleistung dieses Messsystems wesentlich geringer ist.

Weiters kommt dazu, dass der Bewertungshintergrund damals vom momentanen Griffigkeitszustand des Straßennetzes abgeleitet wurde, der sich heute bereits zum Bessern verändert hat. Somit würde man andere Grenzwerte erhalten, falls diese wieder über eine Häufigkeitsverteilung festgelegt würden. Anhand von Untersuchungen von arsenal research gibt es aber schon einen Vorschlag für einen neuen Bewertungshintergrund welcher auf fahrdynamischen Versuchen basiert [17].

Daher wurde in dieser Arbeit der Weg gewählt, die Reibungsbeiwerte GripTester auf Reibungsbeiwerte RoadSTAR umzuwandeln, um diese dann anhand des vorhandenen bzw. neu entwickelten Bewertungshintergrundes beurteilen zu können. Das hat zudem den Vorteil, dass für Österreich nur ein einziger Bewertungshintergrund für die Griffigkeit angewendet wird bzw. die Beurteilung von Griffigkeitsmessergebnissen auch von unterschiedlichen Messsystemen einheitlich erfolgen kann.

10.1 Einsatzmöglichkeiten und Bewertungshintergrund

Zurzeit werden in Österreich im Zuge der Abnahme- und Gewährleistungsprüfung neuer Fahrbahnoberflächen Griffigkeitsmessungen auf Autobahnen und Schnellstraßen durchgeführt. Weiters werden im Rahmen des Pavement Management Systems (PMS) periodische Griffigkeitsmessungen auf dem Autobahn- und Schnellstraßennetz ausgeführt. Auch einige Bundesländer führen nach Implementierung eines PMS mittlerweile periodische Zustandserfassungen auf dem höherrangigen Landesstraßennetz durch. All diese Messungen erfolgen derzeit nur mit dem Griffigkeitsmesssystem RoadSTAR (siehe Kapitel 3.3).

Es gibt aber noch weitere Anwendungsbereiche, wo Griffigkeitsmessungen sinnvoll und notwendig sind. Dazu gehören Untersuchungen von Unfallhäufungsstellen oder Griffigkeitsmessungen auf Teilbereichen des untergeordneten Straßennetzes (Landes- u. Gemeindestraßennetz), um auch hier Mindestanforderungen zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit zu

gewährleisten. Für diese Bereiche könnten durchaus die Regelungen des hochrangigen Straßenetzes vorerst übernommen werden. Allerdings ist damit zu rechnen, dass in diesen Bereichen die Einsatzmöglichkeit von großen Griffigkeitsmesssystemen an ihre Grenzen stößt, zum Beispiel bei kleinen Kreisbogenradien (Rampen, Anschlussstellen, Kreisverkehren, etc.) und bei beengten Verhältnissen auf dem untergeordneten und städtischen Straßennetz. Die Verfügbarkeit für kurzfristige Messungen oder die Wirtschaftlichkeit bei Messungen auf sehr kurzen Messabschnitten könnten ebenfalls limitierende Faktoren für sein.

Für diese zusätzlichen Messaufgaben eignet sich der GripTester (siehe Kapitel 3.4) als ergänzendes Griffigkeitsmessgerät, da er rasch transportiert und bei sehr beengten Verhältnissen notfalls im Schiebebetrieb eingesetzt werden kann. Mit dem GripTester lässt sich gut beurteilen, ob Streckenbereiche eine homogene oder inhomogene Griffigkeit in Längs- bzw. Querrichtung aufweisen. Durch die variable Anhängemöglichkeit an einem Zugfahrzeug können auch andere Bereiche als die rechte Rollspur innerhalb eines Fahrstreifens gemessen werden, ohne den Verkehr dabei zu behindern.

Weiters könnte der GripTester zur Ergänzung oder Entlastung des RoadSTAR auch als Vorbeurteilungsgerät (Screening Gerät) bei der Abnahme- und Gewährleistungsprüfung auf dem Autobahn- und Schnellstraßennetz eingesetzt werden. Beim Einsatz des GripTesters kann zwischen Prüfungen auf Netzebene und Projektebene unterschieden werden.

10.1.1 Zustandserfassung auf Projektebene

Unter den Untersuchungen auf Projektebene werden in diesem Zusammenhang detaillierte Griffigkeitsmessungen auf begrenzten Straßenabschnitten verstanden. Dabei ist zwischen den zwei nachfolgenden Fällen zu unterscheiden:

- Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen im Rahmen von Bauverträgen
- Detailuntersuchungen von Straßenabschnitten

<u>Abnahme und Gewährleistungsprüfung</u>

Die österreichischen Regelungen für die Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen von neuen Deckschichten wurden bereits im Kapitel 4.1.1 genau erläutert. Diese sollen prinzipiell auch für den GripTester übernommen werden, um unterschiedliche bzw. widersprüchliche Verfahren zu vermeiden.

Der Einsatz des Großgerätes RoadSTAR auf vielen, relativ kurzen und oft weit auseinander liegenden Baulosen für die Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen kann fallweise übermäßig teuer und daher unwirtschaftlich werden. Es wäre daher möglich, den GripTester für eine Vorprüfung, als Screening-Gerät, einzusetzen. Sind die Ergebnisse der GripTester-Messung eindeutig zufriedenstellend, könnte auf eine RoadSTAR-Messung verzichtet werden.

Für die Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen sind nur GripTester zuzulassen, die ein Kalibrierzertifikat von einer zugelassenen Institution vorweisen können (maximal 1 Jahr alt). Abweichend von den Regelungen für die Prüfung mit dem RoadSTAR [3] [4] sind mit dem GripTester gemäß RVS 11.06.71 [7] allerdings immer zwei Messungen auszuführen um die Messgenauigkeit ($\Delta\mu \leq 0{,}03$ und $2\sigma \leq 0{,}06$) zu bestätigen. Wenn die Messergebnisse außerhalb der Messgenauigkeit liegen, ist eine weitere Messung durchzuführen. Das endgültige Ergebnis ist der Mittelwert der beiden Messungen, die innerhalb der Messgenauigkeit liegen.

Als Grenzwerte für die Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen mit dem GripTester im Rahmen von Bauverträgen werden die festgelegten Grenzwerte für die Reibungsbeiwerte RoadSTAR herangezogen und gemäß der einseitigen unteren 95%-Vertrauensgrenze auf Reibungsbeiwerte GripTester transformiert. Daraus konnten für den GripTester folgende Grenzwerte für 50-m-Abschnitte für eine Vorbeurteilung abgeschätzt werden (siehe Abbildung 10-1):

- Abnahmeprüfung: $\mu_{GT,60} \geq 0{,}53$
- Gewährleistungsprüfung: $\mu_{GT,60} \geq 0{,}46$

Diese neuen Grenzwerte sind im Vergleich zu den im Forschungsvorhaben [6] publizierten Grenzwerten um 0,02 niedriger. Die Differenz ergibt sich einerseits durch die Erhöhung des konstanten Faktors in der Umrechnungsfunktion von +0,17 auf +0,18 (siehe Formel 9-1) und durch den verbesserten Vertrauensbereich aufgrund der ergänzenden Messdaten.

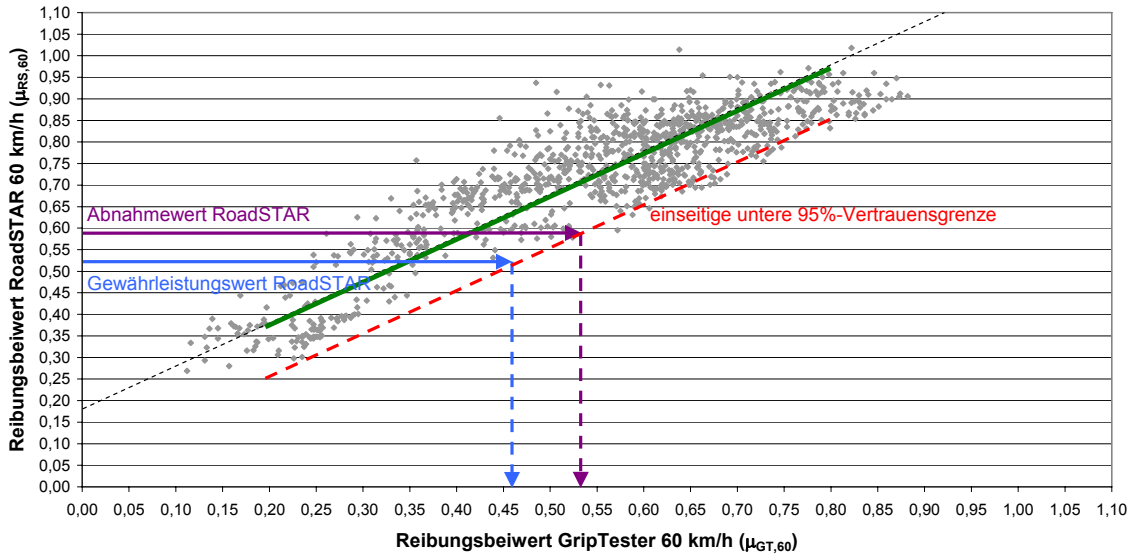


Abbildung 10-1: Abnahme- und Gewährleistungswert für Reibungsbeiwerte (50-m-Mittelwerte) GripTester 60 km/h für SMA, AB, BTD, OBH und Beton

Die zulässige Unterschreitung der Grenzwerte von 0,03 (Vertrauensbereich) bei der Prüfung mit dem RoadSTAR, wird bei der Prüfung mit dem GripTester bewusst nicht in Anspruch genommen. Dadurch erhält man einen weitern Sicherheitsfaktor. Liegen alle 50-m-Mittelwerte über den jeweiligen Grenzwerten

(μ_{GT} ≥ 0,53 bzw. 0,46) ist die Griffigkeitsanforderung erfüllt. Unterschreiten einzelne 50-m-Mittelwerte den jeweiligen Grenzwert, so ist eine Prüfung mit dem RoadSTAR durchzuführen. Diese Prozedur ist als Vorschlag für eine wirtschaftliche und praktikable Vorgehensweise anzusehen, die keine Qualitätsverminderung darstellt. Weiters ist der GripTester durch diese Bewertungsmöglichkeit bestens geeignet, die Ersatzprüfung mit dem SRT-Pendel und dem Ausflussmesser auf kurzen Baulosen (≤ 500 m) abzulösen und eine kontinuierliche schnelle Prüfung im fließenden Verkehr zu ermöglichen. Diese Vorschläge sind in den zuständigen Gremien zu diskutieren und gegebenenfalls in die ergänzenden Vertragsbestimmungen des BMVIT bzw. die entsprechenden Richtlinien der RVS aufzunehmen.

Detailuntersuchungen

Ein anderes Einsatzgebiet des GripTesters auf Projektebene sind Detailuntersuchungen von kurzen Netzabschnitten z.B. die Überprüfung von Unfallhäufungsstellen. Hier ist oft nicht nur die absolute Höhe der Griffigkeit interessant, sondern auch die Homogenität der Griffigkeit des Streckenabschnittes bzw. der relative Unterschied der Griffigkeit zu den anschließenden Abschnitten.

Von Interesse kann z.B. auch die Variation der Griffigkeit im Querprofil der Fahrbahn sein. So konnten schon vor Jahren mit dem GripTester auf Schienenstraßen große Unterschiede der Reibungsbeiwerte zwischen den Betonplatten im Gleisbereich und der anschließenden Fahrbahndeckschicht nachgewiesen werden. Diese Untersuchungen führten in der Folge zur Festlegung von Griffigkeitsanforderungen an die verwendeten Gleisbetonplatten [136].

Für Detailuntersuchungen können aber Abweichungen von den Regelungen in der RVS 11.06.71 durchaus sinnvoll sein. Die Lage der Messspur, sowie die Anzahl der Messungen sind je nach Untersuchungsprogramm zu wählen. Zum Beispiel können neben der Messspurvariation auch die Aufzeichnungs- und Auswerteintervalle (z.B. auf 1 m) verkürzt werden, um die Fahrbahnoberfläche detaillierter erfassen zu können. Weiters können auf Grund der örtlichen Verhältnisse die Messungen auch bei geringeren Messgeschwindigkeiten (z.B. 20 km/h oder 40 km/h) als der Standardmessgeschwindigkeit ausgeführt werden, wodurch sich der Einsatzbereich wesentlich vergrößert. Die Bewertung kann dann durch den vereinfachten Bewertungsvorschlag gemäß Abbildung 10-5 (siehe Seite 204) erfolgen.

10.1.2 Zustandserfassung auf Netzebene

Die messtechnische Erfassung der Griffigkeit auf Netzebene ist in Österreich unbestritten eine Domäne des RoadSTAR. Für die Erfassung lokaler Teilbereiche oder für eine Vorbeurteilung könnte aber fallweise auch der GripTester zur Anwendung kommen. Die Griffigkeitsmessungen sind jedenfalls gemäß der RVS 11.06.71 mit einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h auszuführen. Wie sich gezeigt hat, passen die Ergebnisse der ersten Messung im Regelfall nicht so gut zu den nachfolgenden (siehe Kapitel 6.4.6). Daher sind konform zur RVS immer mindestens zwei Messungen durchzuführen um die Wiederholgenauigkeit bestätigen

zu können. Wenn diese eingehalten ist, sind für das endgültige Messergebnis die Daten beider Messungen arithmetisch zu mitteln. Die einseitige untere 95%-Vertrauensgrenze für einen 50-m-Mittelwert einer Doppelmessung beträgt dabei unter Wiederholbedingungen μ_{GT} - 0,02 und unter Vergleichbedingungen μ_{GT} - 0,03 (siehe Kapitel 6.5.4).

Für die Bewertung der Messergebnisse wird, wie schon einleitend erwähnt, der österreichische Bewertungshintergrund 1996 herangezogen. Mittels der in Kapitel 9.6 angegebenen linearen Umrechnungsfunktion werden die Grenzwerte der Zustandsklassen des RoadSTAR bei 60 km/h (rote Pfeile) auf Reibungsbeiwerte GripTester transformiert (siehe Abbildung 10-2).

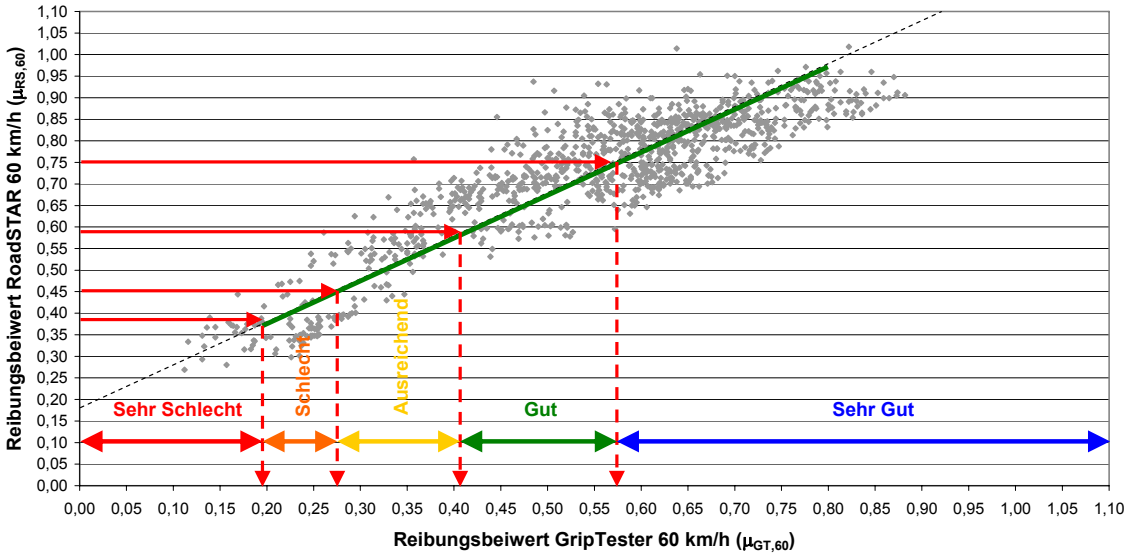


Abbildung 10-2: Transformierte Grenzwerte des Bewertungshintergrundes RoadSTAR 60 km/h auf GripTester 60 km/h

Wie in Abbildung 10-2 zu sehen ist, werden nicht alle von GripTester und RoadSTAR ermittelten Reibungsbeiwerte den gleichen Zustandsklassen zugeordnet. In Tabelle 10-1 erfolgt daher eine Gegenüberstellung der Zustandsklassenverteilung der 50-m-Mittelwerte beider Messsysteme.

Tabelle 10-1: Verteilung der Zustandsklassen GripTester – RoadSTAR

Zustands-klasse	Verteilung [%]					
	41 Strecken n = 1416 50-m-Mittelwerte			26 Strecken n = 1045 50-m-Mittelwerte		
	RoadSTAR	GripTester	Differenz	RoadSTAR	GripTester	Differenz
Klasse 1	50,7	61,0	10,3	49,4	52,1	2,7
Klasse 2	36,2	23,4	-12,8	33,2	27,2	-6,0
Klasse 3	6,2	9,3	3,0	8,1	12,2	4,1
Klasse 4	2,3	4,2	1,9	3,1	5,6	2,6
Klasse 5	4,7	2,2	-2,5	6,2	2,9	-3,3

Bei Betrachtung aller Daten (41 Strecken) treten bei den einzelnen Klassen Abweichungen von bis zu 13 % auf. Nach Ausschluss der problematischen Strecken (DA, LSMA, DD, Waschbeton neu) reduzieren sich für die restlichen 26 Strecken die Abweichungen innerhalb einer Klasse auf 6 %, was durchaus passabel ist.

Allerdings ist nicht nur die Gesamtverteilung interessant, sondern auch, wie die einzelnen Messstrecken und 50-m-Abschnitte bei einer direkten Gegenüberstellung bewertet werden. In Tabelle 10-2 sind die Unterschiede der Bewertung der Griffigkeitsmesssysteme GripTester und RoadSTAR angeführt. Einerseits für alle 41 Messstrecken, nur für 26 Messstrecken und andererseits für die 1416 bzw. 1045 50-m-Abschnitte. Bei dieser Gegenüberstellung konnte gezeigt werden, dass ca. 35 % der 50-m-Abschnitte von GripTester und RoadSTAR unterschiedlich bewertet werden. Allerdings betrugen die Unterschiede immer nur maximal eine Klassenstufe auf- oder abwärts.

Tabelle 10-2: Vergleich der Bewertung GripTester – RoadSTAR

Messstrecken bzw. 50-m-Abschnitte	Gleiche Klasse	Eine Klasse besser	Eine Klasse Schlechter	Abweichung [%]
41 Strecken	24	14	3	41
1416 50-m-Abschnitte	889	341	186	37
26 Strecken	20	4	2	23
1045 50-m-Abschnitte	698	192	155	33

Aufgrund dieser Abweichungen ist es nicht ratsam, transformierte Reibungsbeiwerte GripTester in ein bestehendes PMS mit RoadSTAR-Daten zu übernehmen. Da die 95%-Vertrauensgrenzen für die Umrechnung eines einzelnen 50-m-Mittelwertes erheblich groß sind (siehe Kapitel 9.6.3), ist auch eine detaillierte Bewertung mit 5 Klassen für Reibungsbeiwerte GripTester nicht sinnvoll. Daher wird für eine vorläufige Bewertung der Griffigkeit im Rahmen einer Zustandserfassung auf Netzebene ein vereinfachter Bewertungshintergrund mit 3 Klassen (Schlecht, Ausreichend und Gut) für den GripTester vorgeschlagen, der den Vertrauensbereich der Umrechnungsfunktion mit berücksichtigt. Dafür wurden die oberen Grenzwerte der Zustandsklassen 4 ($\mu_{RS} \leq$ 0,45, Warnwert) und 3 ($\mu_{RS} \leq$ 0,59) gem. RVS 13.01.15 [76] anhand der einseitigen unteren 95%-Vertrauensgrenze auf Reibungsbeiwerte GripTester transformiert (siehe Abbildung 10-3). Mit einer Wahrscheinlichkeit von P = 95 % liegen somit die gemessenen Reibungsbeiwerte GripTester eines 50-m-Abschnittes über den jeweiligen Grenzwerten des RoadSTAR. Folgende Grenzwerte können daraus für eine vorläufige Beurteilung im Rahmen einer Zustandserfassung vorgeschlagen werden:

- Schlecht: $\mu_{GT,60} \leq 0{,}39$ (Messung mit RoadSTAR notwendig)
- Ausreichend: $\mu_{GT,60} \leq 0{,}53$
- Gut: $\mu_{GT,60} > 0{,}53$

Auch diese neuen Grenzwerte sind im Vergleich zu den im Forschungsvorhaben [6] publizierten Grenzwerten um 0,02 niedriger (Vergleich Abbildung 10-3 und Abbildung 10-4). Die Differenz ergibt sich wieder durch die Erhöhung des konstanten Faktors in der Umrechnungsfunktion von +0,17 auf +0,18 (siehe Formel 9-1) und durch den verbesserten Vertrauensbereich aufgrund der zusätzlichen Messdaten.

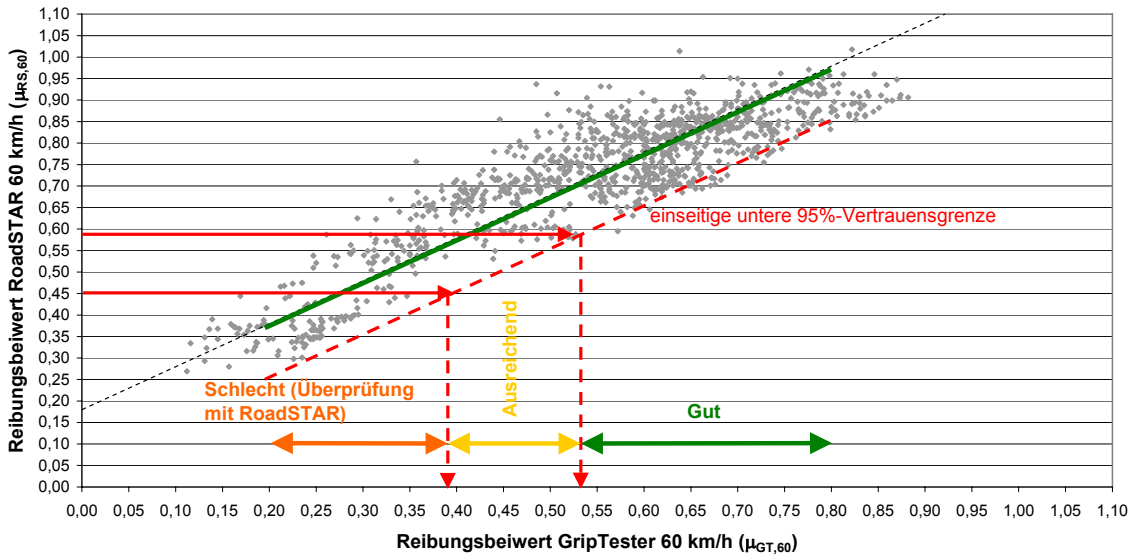


Abbildung 10-3: Neue vereinfachte transformierte Grenzwerte des Bewertungshintergrundes RoadSTAR 60 km/h auf GripTester 60 km/h mit unterem 95%-Vertrauensbereich

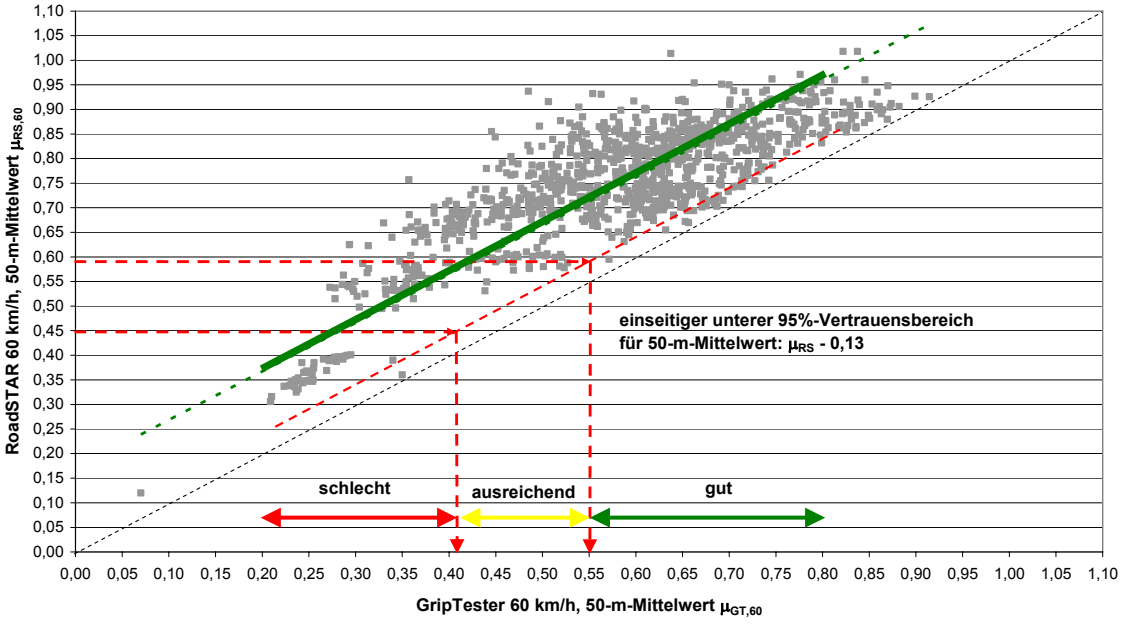


Abbildung 10-4: Alter vereinfachter Bewertungsvorschlag für Reibungsbeiwerte GripTester bei 60 km/h für AB, SMA, BTD, DD, OBH und Beton [6]

Anhand der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte GripTester gemäß Kapitel 7.1 und der guten Korrelation RoadSTAR 60 km/h und GripTester 40 km/h kann der in Abbildung 10-5 dargestellte Bewertungshintergrund für

Reibungsbeiwerte GripTester in einem Bereich von 40 km/h bis 60 km/h für die Deckschichten SMA, AB, BTD, OBH und Beton angegeben werden. Mit diesem Bewertungshintergrund können nun die Ergebnisse von GripTester-Messungen bei beliebigen Geschwindigkeiten zwischen 40 km/h und 60 km/h beurteilt werden, ohne vorher auf RoadSTAR-Werte ($\mu_{RS,60}$) umrechnen zu müssen. Im Vergleich zu den Ergebnissen des Forschungsvorhabens [6] bedeutet dies eine Erweiterung des Anwendungsbereiches des GripTesters, da der Messgeschwindigkeitsbereich ausgedehnt wurde.

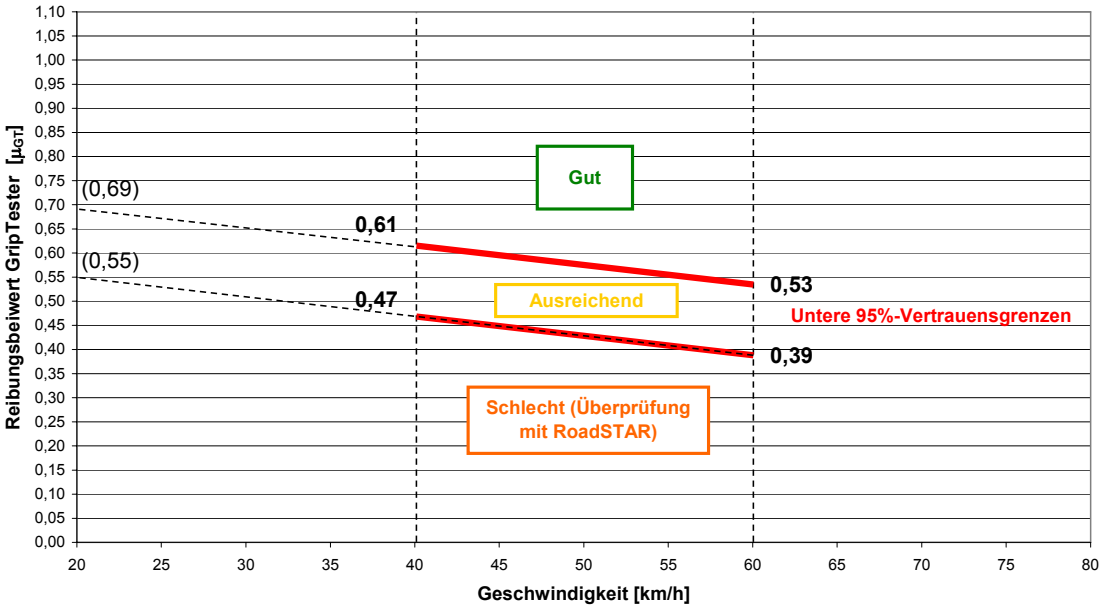


Abbildung 10-5: Neuer, vereinfachter Bewertungshintergrund für Reibungsbeiwerte (50-m-Mittelwerte) GripTester für SMA, AB, BTD, OBH und Beton

Vergleicht man diesen Bewertungshintergrund mit jenem aus Großbritannien, (siehe Tabelle 4-6, Seite 77) sieht man, dass die unteren Grenzwerte für Griffigkeitsmessungen mit 50 km/h in der Klasse „Ausreichend“ liegen. Konkret wird hier für Annäherungen an Kreuzungen, Kreisverkehre, und Fußgängerübergänge sowie bei Kurven mit Radien R < 500 m und Steigungsstrecken mit s ≥ 5 % (Klassen Q bis S2) eine Mindestgriffigkeit von μ_{GT} = 0,53 angegeben [101]. Die Mindestgriffigkeit auf Flugbetriebsflächen bei einer Messgeschwindigkeit von 65 km/h (μ_{GT} = 0,43) würde bei dem neuen Bewertungshintergrund ebenfalls in die Klasse „Ausreichend“ hineinfallen (siehe Tabelle 4-9, Seite 81).

Wie bereits erwähnt, sind Messungen auf Netzebene aber nicht das primäre Einsatzgebiet des GripTesters. Durch das relativ geringe Wassertankvolumen im Vergleich zum RoadSTAR und wegen der vorgeschriebenen Durchführung von mindestens zwei Messungen wird die mögliche Tageskilometerleistung des GripTesters deutlich herabgesetzt. Dadurch ist das Griffigkeitsmesssystem GripTester wenig für die Durchführung von großräumigen, netzweiten Griffigkeitsmessungen geeignet, sondern eher für die Untersuchung von Teilabschnitten oder für Kontrollmessungen zwischen den periodischen

Zustandserfassungen des RoadSTAR einsetzbar. Der Einsatz auf räumlich geschlossenen, kommunalen Netzen ist aber für den GripTester durchaus sinnvoll.

10.2 Hinweise für den Einsatz des GripTesters

Anhand der Erfahrungen bei der Messdurchführung sind folgende Bereiche für Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester kritisch zu betrachten. Bei Messungen auf in Querrichtung sehr inhomogenen Fahrbahnoberflächen ist es schwierig, Messergebnisse mit guter Wiederholbarkeit zu erreichen. Dies trifft besonders auf Strecken mit ausgeprägten Spurrinnen zu, da es vor allem in Kurvenbereichen nicht einfach ist, die Spurrinnen genau zu treffen und der Unterschied zwischen der Griffigkeit in den Spurrinnen und den anschließenden Bereichen sehr groß sein kann. Dieses Problem hat allerdings nicht nur der GripTester, sondern es ist für alle Griffigkeitsmessgeräte gleichermaßen gegeben.

Probleme können für den GripTester eventuell auch bei Strecken mit sehr schlechter Längsebenheit auftreten, da hier die GripTester-Messungen wegen der größeren Schwankungen der Vertikalkraft manchmal zu Ergebnissen mit schlechter Wiederholbarkeit führen. Für solche kritischen Streckenabschnitte wird daher empfohlen, mehrere Messungen zu fahren um das Ergebnis möglichst gut absichern zu können.

Obwohl die Wiederholgenauigkeit des GripTesters die zulässigen Toleranzen des RoadSTAR praktisch erreicht, ist bei der Vergleichsgenauigkeit noch eine Verbesserung notwendig. Damit beim Einsatz von mehreren GripTestern nicht zu große Abweichungen zwischen den einzelnen Geräten auftreten, muss durch eine regelmäßige Kalibrierung aller im Einsatz befindlichen GripTester gewährleistet werden, dass alle Geräte auf dem selben Niveau messen. Dadurch kann die Vergleichgenauigkeit zukünftig noch verbessert werden, und es bleiben nur die Abweichungen aufgrund der unterschiedlich gefahrenen Messspur und der aktuellen Messbedingungen. Dieses Problem trifft aber ebenfalls für alle Griffigkeitsmesssysteme zu und wird für den praktischen Einsatz auch erst dann relevant, wenn in Österreich mehrere GripTester in Betrieb sind.

Zur Verbesserung bzw. Absicherung der abgeleiteten Umrechnungsfunktion GripTester – RoadSTAR sollten jedenfalls noch stichprobenartige Vergleichs-messungen in exakt der gleichen Messspur und unmittelbar hintereinander durchgeführt werden, um die Variation des Messobjektes (Fahrbahnoberfläche) und der Messbedingungen ausschließen zu können.

Um das Verhalten von GripTester und RoadSTAR auf den Deckschichttypen Drainasphalt, lärmmindernder Splittmastixasphalt und Waschbeton besser beurteilen zu können, sind hier noch umfangreichere Vergleichsmessungen notwendig. Da diese Deckschichttypen aber auf dem Sekundär- und Stadtstraßennetz, auf denen der GripTester sinnvoll eingesetzt werden kann, praktisch nicht vorkommen, kann der vorgeschlagene Bewertungshintergrund generell zur Anwendung kommen.

11 Zusammenfassung

Seit dem Jahr 2005 werden in Österreich neue Griffigkeitsanforderungen an Deckschichten von Autobahnen und Schnellstraßen gestellt [2], die bei der Abnahme und vor Ende der Gewährleistungsfrist überprüft werden. Weiters werden zur netzweiten Zustanderfassung Griffigkeitsmessungen auf dem Bundes- und Landesstraßennetz im Rahmen des Pavement Managements durchgeführt. Die Bewertung erfolgt dabei auf Basis des österreichischen Bewertungshintergrundes 1996 für die Griffigkeit [46]. Zur Durchführung dieser Griffigkeitsmessungen wird das Hochleistungsmesssystem RoadSTAR, welches mit einem modifizierten „Stuttgarter Reibungsmesser“ ausgestattet ist, eingesetzt. Zurzeit sind in Österreich bzw. weltweit zwei dieser Griffigkeitsmesssysteme in Betrieb.

Als ergänzendes Griffigkeitsmessgerät zu den beiden Großgeräten bietet sich das Messsystem GripTester an. Der GripTester ist ein dynamisches Griffigkeitsmessgerät, das ebenfalls nach dem Prinzip des konstant gebremsten Messrades auf einer mit Wasser benetzten Oberfläche arbeitet. Es handelt sich um einen kompakten Messanhänger, der von einem Zugfahrzeug gezogen wird und sich primär für den Einsatz auf kurzen Messabschnitten eignet. Vom GripTester sind weltweit bereits mehr als 400 Exemplare in Verwendung.

Die Messsysteme GripTester und RoadSTAR arbeiten zwar fast im gleichen Schlupfbereich, wegen der gerätebedingten Unterschiede ist aber eine direkte Gleichsetzung der Messergebnisse (Reibungsbeiwerte) nicht möglich. Maßgeblich voneinander unterscheiden sich die Messreifengröße, das Messreifenprofil und die Auflast auf den Messreifen.

Primäres Ziel dieser Arbeit war es, Grundlagen zur Griffigkeitsmessung mit dem GripTester auf dem österreichischen Straßennetz zu erstellen. Dazu wurden ein standardisiertes Messverfahren und zulässige Messbedingungen definiert, um eine einheitliche Verwendung des Messsystems zu gewährleisten. Diese wurden im Juni 2009 in der RVS 11.06.71 „Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester“ [7] veröffentlicht. Dafür war auch die erreichbare Präzision des Messverfahrens zu bestimmen, die anhand von drei Ringversuchen in Deutschland sowie umfangreicher Wiederholungsmessungen auf 44 österreichischen Messstrecken ermittelt wurde. Für den GripTester konnten für einen 50-m-Mittelwert folgende Präzisionswerte abgeschätzt werden:

- Wiederholstandardabeichung $s_r = 0{,}015$
- Wiederholgrenze $r = 0{,}04$
- Vergleichstandardabweichung $s_R = 0{,}029$
- Vergleichgrenze $R = 0{,}08$

Anhand der österreichischen Untersuchungen zeigte sich auch, dass die Wiederholgenauigkeit nicht von der Messgeschwindigkeit abhängig ist. Im konkreten Fall war diese für die Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h annähernd auf dem gleichen Niveau. Einen wesentlichen Einfluss auf die Wiederholgenauigkeit hatte allerdings das Auswerteintervall. Bei Verringerung des Auswerteintervalls von 50 m auf 5 m erhöhte sich die Wiederholstandabweichung um ca. 40 %.

Ein Vergleich der Messgenauigkeit des GripTesters mit der in der RVS 11.06.65 [5] festgelegten Messgenauigkeit des RoadSTAR zeigte, dass mit dem GripTester auf einem Großteil der Messstrecken die Grenzwerte der Messgenauigkeit des RoadSTAR eingehalten wurden.

Zur Ermittlung der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte GripTester wurden Messungen mit 40 km/h und 60 km/h durchgeführt. Wesentliche Erkenntnis dabei war, dass auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen eine unterschiedliche Geschwindigkeitsabhängigkeit auftrat. Auf lärmmindernden Deckschichten und Drainasphalten wurde eine Geschwindigkeitsabhängigkeit von ±0,002 μ_{GT}/km/h, und auf AB, SMA, BTD und bituminösen Oberflächenbehandlungen von ±0,004 μ_{GT}/km/h festgestellt. Daher ist eine Toleranz von ±3 km/h von der Sollmessgeschwindigkeit einzuhalten, um den Einfluss der Geschwindigkeits-abhängigkeit auf das Messergebnis zu minimieren. Für die Umrechnung der Reibungsbeiwerte von 40 km/h auf 60 km/h konnte aufgrund einer sehr guten Korrelation mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 = 0,95 folgende Funktion abgeleitet werden:

$$\mu_{GT,60} = \mu_{GT,40} - 0{,}08 \qquad \textbf{Formel 11-1}$$

Bei dieser Umrechnungsfunktion ist allerdings für einen vorausgesagten einzelnen Reibungsbeiwert (50-m-Mittelwert) bei 60 km/h aus einem gemessenen Reibungsbeiwert bei 40 km/h ein zweiseitiger 95%-Vertrauensbereich von $\mu_{GT,60}$ ± 0,07 zu berücksichtigen.

Anhand von Untersuchungen zur Texturabhängigkeit konnte festgestellt werden, dass die Reibungsbeiwerte GripTester nicht nur von der Makrotextur der Fahrbahnoberfläche abhängig sind. Daher kann von den MPD- bzw. MTD-Werten alleine kein Rückschuss auf die Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche getroffen werden. Auffällig war, dass aus einem hohen Texturwert nicht automatisch eine hohe Griffigkeit resultiert und umgekehrt. Dies bestätigt, dass auch die Mikrotextur des Gesteins bzw. das Zusammenspiel von Mikro- und Makrotextur den gemessenen Reibungsbeiwert beeinflussen. Weiters zeigten die Ergebnisse, dass bei Unterschreitung des Grenzwertes von MTD = 0,4 mm nicht automatisch eine schlechte Griffigkeit vorhanden sein muss.

Die Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit der Reibungsbeiwerte zeigten keinen eindeutigen Einfluss. Die zulässige Temperaturspanne der Fahrbahnoberfläche von 5 °C bis 50 °C für Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester und die Temperaturkorrektur innerhalb dieses Bereiches gemäß der Arbeitsanleitung der FGSV [93] konnte anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht

bestätigt werden. Die in der RVS 11.06.71 angeführte zulässige Temperaturspanne von 5 °C bis 40 °C ohne Temperaturkorrektur ist im Moment praktikabler, da man dadurch extreme Messbedingungen mit eventuell verfälschten Messergebnissen ausschließen kann.

Die Untersuchungen zum Kurvenverhalten der GipTester Modelle MK1 und MK2 zeigten, dass der Kurveneinfluss beim MK2 behoben wurde, da hier kaum nennenswerte Differenzen der Reibungsbeiwerte bei Rechts- und Linkskurven vorhanden waren. Das Kurvenproblem beim MK1 kann auf ein Linkskurvenproblem reduziert werden, da hier die größten Abweichungen zum MK2 auftraten. Weiters zeigte sich beim MK1 auch bei Schrittgeschwindigkeit (ca. 6 km/h) ein Kurveneinfluss. Dieser tritt also nicht nur wegen der Fliehkräfte bei hohen Geschwindigkeiten auf, sondern auch durch den permanenten Seitendruck den die Messperson aufbringen muss, um den GripTester durch die Kurve zu schieben.

Bei den Griffigkeitsmessungen zur Qualitätssicherung bestätigte sich, dass die in der RVS 11.06.71 festgelegten Grenzwerte für die monatlichen Referenzmessungen mit dem Messsystem GripTester auch bei viel größeren Zeitspannen (3 bis 10 Monate) gut eingehalten werden können. Anhand von Reifenvergleichsmessungen konnte auch gezeigt werden, dass sich durch den Gebrauch des Messreifens das Niveau der Reibungsbeiwerte innerhalb von eineinhalb Jahren nicht systematisch verändert hat, aber eine Nutzungsdauer von über zwei Jahren bzw. eine Laufleistung von maximal 500 km eingehalten werden sollte.

Sekundäres, aber wesentliches Ziel dieser Arbeit war der Vergleich der Reibungsbeiwerte von GripTester und RoadSTAR und die Möglichkeit der Bewertung anhand des vorhandenen österreichischen Bewertungshintergrundes 1996, welcher auf RoadSTAR-Daten basiert. Dazu wurden auf 41 Messstrecken Vergleichsmessungen mit beiden Geräten durchgeführt. Mittels Regressionsanalysen konnte bei Betrachtung von unterschiedlichen Deckschichtgruppen eine Basis für eine Umrechnungsfunktion der Reibungsbeiwerte GripTester auf Reibungsbeiwerte RoadSTAR mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,80$ ermittelt werden. Für Reibungsbeiwerte GripTester wurde für die Deckschichten AB, SMA, OBH, BTD und Beton folgende Umrechnungsfunktion festgelegt:

$$\mu_{RS} = \mu_{GT,60} + 0{,}18 = \mu_{GT,40} + 0{,}10 \qquad \textbf{Formel 11-2}$$

Die Umrechnungsfunktion ist vorrangig für die Transformierung von Reibungsbeiwerten, welche mit dem GripTester bei einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h oder 40 km/h ermittelt wurden, anzuwenden. Der 95%-Vertrauensbereich beträgt dabei für einen vorausgesagten einzelnen Reibungsbeiwert RoadSTAR (50-m-Mittelwert) aus einem gemessenen Reibungsbeiwert GripTester im zweiseitigen Fall μ_{RS} ± 0,15 und für den einseitigen Fall (Grenzwertuntersuchung) reduziert sich dieser auf μ_{RS} - 0,12. Die direkte Umrechnung ist aufgrund dieser Vertrauensbereiche noch zu ungenau, aber unter bewusster Berücksichtigung der

Vertrauensgrenzen ist eine Vorbeurteilung möglich, bei der sich die Klasseneinteilung an der einseitigen unteren 95%-Vertrauensgrenze orientiert.

Für die Deckschichttypen Waschbeton, DA und lärmmindernden SMA konnte im Rahmen der Untersuchungen keine Umrechungsfunktion abgeleitet werden, da die Datenmenge zu gering war. Es zeigte sich aber der Trend, dass GripTester und RoadSTAR auf diesen Deckschichten Reibungsbeiwerte auf annähernd dem selben Werteniveau messen.

Als weitere Möglichkeit für einen Vergleich der Reibungsbeiwerte von GripTester und RoadSTAR wurde die Umrechnung mittels des International Friction Index (IFI) untersucht. Im Jahr 1992 wurde von PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) ein Forschungsvorhaben durchgeführt, das einen Vergleich der weltweit vorhandenen, unterschiedlichen Griffigkeitsmessverfahren und eine internationale Harmonisierung der Messergebnisse ermöglichen sollte [123]. Durch Miteinbeziehung der Textur der Fahrbahnoberfläche und der Schlupfgeschwindigkeit konnte ein internationaler Reibungsindex (IFI) ermittelt werden, der eine bessere Korrelation zwischen den verschiedenen Messsystemen ermöglichte. Durch die Umrechnung der vorhandenen Reibungsbeiwerte auf den IFI konnte vorerst eine deutlich bessere Übereinstimmung zwischen den beiden Messsystemen erreicht werden. Aufgrund der Unsicherheiten der damals entwickelten Kalibrierfaktoren für den IFI und der Tatsache, dass bei Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester keine kontinuierliche Erfassung der Textur erfolgt, wurde diese Möglichkeit der Umrechnung von GripTester- auf RoadSTAR-Reibungsbeiwerte für eine praktische Anwendung aber ausgeschieden.

Auf Grundlage der erarbeiteten Vorgaben für die Griffigkeitsmessung mit dem GripTester und der Möglichkeit des Vergleiches mit den RoadSTAR-Reibungsbeiwerten wurden schließlich die Einsatzmöglichkeiten des GripTesters beleuchtet. Dabei wurde zwischen Griffigkeitsmessungen auf Projektebene und auf Netzebene unterschieden.

Unter Griffigkeitsmessungen auf Projektebene werden detaillierte Griffigkeitsmessungen auf begrenzten Straßenabschnitten verstanden. Hierbei kann man zwischen zwei Fällen unterscheiden:

- Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen im Rahmen von Bauverträgen
- Detailuntersuchungen von Straßenabschnitten (z.B. Unfallhäufungsstellen)

Für Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen wurden in den ergänzenden Vertragsbestimmungen des BMVIT bzw. in der RVS 08.16.01 [3] und RVS 08.17.02 [4] für das Griffigkeitsmesssystem RoadSTAR bereits Anforderungen an die Griffigkeit für Autobahnen und Schnellstraßen festgelegt. Da der Einsatz des Großgerätes RoadSTAR auf vielen, relativ kurzen und oft weit auseinander liegenden Baulosen für die Abnahme- und Gewährleistungsprüfung fallweise unwirtschaftlich werden kann, wäre es möglich, den GripTester für eine Vorprüfung, als Screening-Gerät, einzusetzen.

Als Grenzwerte für Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen mit dem GripTester wurden die festgelegten Grenzwerte für die Reibungsbeiwerte RoadSTAR herangezogen und gemäß der einseitigen unteren 95%-Vertrauensgrenze auf Reibungsbeiwerte GripTester transformiert. Daraus konnten für den GripTester unter bewusstem Verzicht auf die Inanspruchnahme der Toleranz für die Messgenauigkeit folgende Grenzwerte für einen 50-m-Abschnitt für eine Vorbeurteilung abgeschätzt werden:

- Abnahmeprüfung: $\mu_{GT,60} \geq 0{,}53$
- Gewährleistungsprüfung: $\mu_{GT,60} \geq 0{,}46$

Liegen alle 50-m-Mittelwerte über den jeweiligen Grenzwerten ist die Vorprüfung mit dem GripTester ausreichend. Unterschreiten einzelne 50-m-Mittelwerte den jeweiligen Grenzwert, so ist eine Prüfung mit dem RoadSTAR durchzuführen.

Diese Prozedur ist als Vorschlag für eine wirtschaftliche und praktikable Vorgehensweise anzusehen, die keine Qualitätsverminderung darstellt. Weiters ermöglicht der GripTester, die Ersatzprüfung mit dem SRT-Pendel und dem Ausflussmesser auf kurzen Baulosen (≤ 500 m) abzulösen und eine kontinuierliche schnelle Prüfung im fließenden Verkehr durchzuführen. Dieser Vorschlag ist in den zuständigen Gremien zu diskutieren und gegebenenfalls in die ergänzenden Vertragsbestimmungen des BMVIT bzw. in die entsprechende RVS aufzunehmen.

Ein anderer Einsatzbereich des GripTesters auf Projektebene ist die Detailuntersuchung von kurzen Netzabschnitten bzw. die Überprüfung von Unfallhäufungsstellen. Hier ist oft nicht nur die absolute Höhe der Griffigkeit interessant, sondern auch die Homogenität der Griffigkeit des Streckenabschnittes bzw. der relative Unterschied der Griffigkeit zu den anschließenden Netzabschnitten. Bei diesen Messungen empfiehlt sich je nach Messaufgabe die Auswertung auch für kürzere Intervalle (1 m oder 5m) vorzunehmen, um Unregelmäßigkeiten besser erfassen zu können. Durch die variable Anhängemöglichkeit des GripTesters am Zugfahrzeug können auch andere Bereiche als die rechte Rollspur innerhalb eines Fahrstreifens gemessen werden, ohne den Verkehr dabei zu behindern.

Unter Griffigkeitsmessungen auf Netzebene werden großräumige, netzweite Zustandserfassungen verstanden, dies ist unbestritten eine Domäne des RoadSTAR. Für die Erfassung lokaler Teilnetze oder für die Vorbeurteilung könnte aber fallweise auch der GripTester zur Anwendung kommen. Dazu wurden auf Basis des österreichischen Bewertungshintergrundes 1996 für den RoadSTAR und der einseitigen unteren 95%-Vertrauensgrenze der ermittelten Umrechnungsfunktion für Reibungsbeiwerte GripTester auf Reibungsbeiwerte RoadSTAR folgender vereinfachte Bewertungshintergrund für den GripTester abgeleitet (siehe Abbildung 11-1).

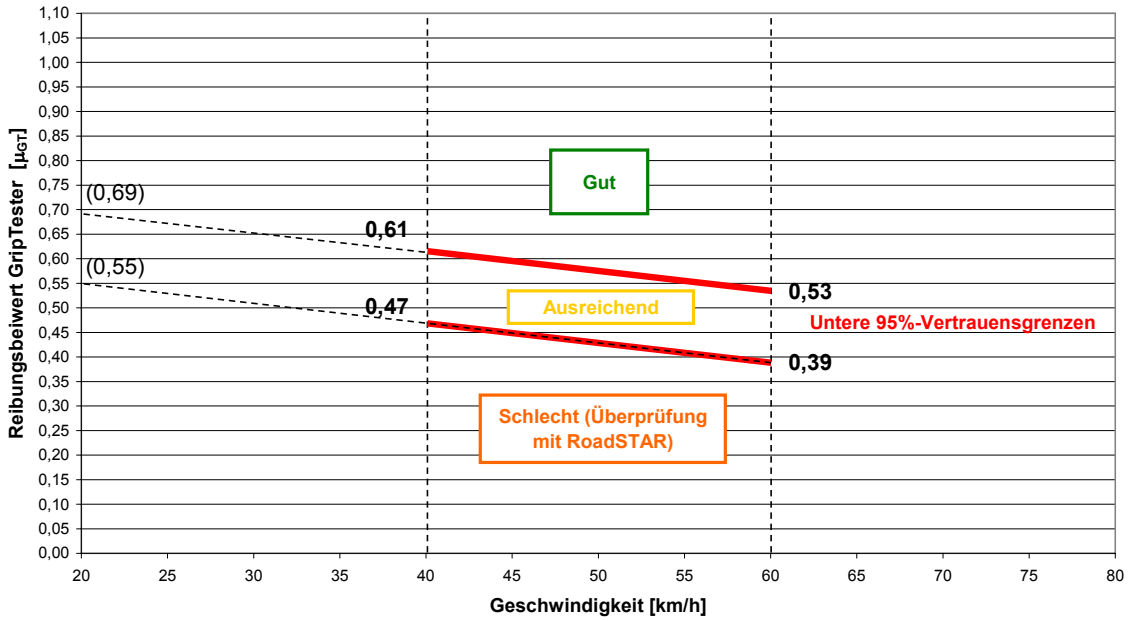


Abbildung 11-1: Vereinfachter Bewertungshintergrund für Reibungsbeiwerte (50-m-Mittelwerte) GripTester für SMA, AB, BTD, OBH und Beton

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass das Messsystem GripTester Messergebnisse mit einer guten Präzision liefert und weitgehend die festgelegten Anforderungen an die Wiederholgenauigkeit des RoadSTAR erfüllt. Der GripTester kann und soll auf Netzebene die Messungen mit dem RoadSTAR nicht ersetzen. Er kann aber als wirtschaftliches Ergänzungsgerät vor allem auch unter jenen Randbedingungen eingesetzt werden, für die der RoadSTAR nicht geeignet ist.

12 Literaturverzeichnis

[1] StVO: Straßenverkehrsordnung BGBL 1960/159 idF BGBI I 2006/152, Kuratorium für Verkehrssicherheit, 3. Auflage, Wien, 2006.

[2] BMVIT: Ergänzende Vertragsbestimmungen – Griffigkeitsanforderungen für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt und Beton, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2004 (gültig mit 01.01.2005).

[3] RVS 08.16.01: Anforderungen an Asphaltschichten, Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Wien, 2007.

[4] RVS 08.17.02: Betondecken – Deckenherstellung, Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Wien, 2007.

[5] RVS 11.06.65: Griffigkeitsmessungen mit dem System RoadSTAR, Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Wien, 2002.

[6] Kluger-Eigl W., Litzka J. u. Maurer P.: Grundlagen zur Griffigkeitsmessung mit dem GripTester, Schriftenreihe Straßenforschung – Heft 566, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2007.

[7] RVS 11.06.71: Griffigkeitsmessungen mit dem System GripTester, Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Wien, 2009.

[8] Kummer H.W.: Unified Theorie of Rubber and Tire Friction, Engineering Research Bulletin B-94, College of Engineering, Pennsylvania State University, Pennsylvania USA, 1966.

[9] Kummer H.W.: Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn, Berichte des Institutes für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Berlin, Heft 2: Internationales Colloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe in Berlin 1968, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin/München/Düsseldorf, ISBN 3 433 00177 4, 1970.

[10] Kummer H.W. u. Meyer W.E.: Versuch der Festlegung von Anforderungen an die Griffigkeit von Hauptverkehrsstraßen außerhalb von Ortschaften, Berichte des Institutes für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Berlin, Heft 2: Internationales Colloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe in Berlin 1968, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin/München/Düsseldorf, ISBN 3 433 00177 4, 1970.

[11] MB Griff: Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., FGSV-Nr. 401, Köln, 2003.

[12] Huschek S. u. Merzoug P.D.: Zusammenhang zwischen Rauheit und Griffigkeit, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik – Heft 735, Bonn, 1996.

[13] Klüppel M. and Heinrich G.: Rubber Friction on Self-Affine Road Tracks, Rubber Chem. Technol. 73, 2000.

[14] Bachmann T.: Wechselwirkungen im Prozess der Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12: Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, Nr. 360, VDI-Verlag, Darmstadt, 1998.

[15] Pfeiler A.: Erhöhung der Griffigkeit von Asphaltstraßen, Der Einfluss der Polierresistenz feiner Gesteinskörnungen auf das Griffigkeitsverhalten von Asphaltdeckschichten, Dissertation am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien; Wien 2004.

[16] Kalender U.: Wechselwirkung Reifen/Fahrbahnoberfläche auf den Kraftschluss bei Nässe und hohen Fahrgeschwindigkeiten bei Verwendung neuester Reifentypen - Teil 2, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik – Heft 498, Bonn 1987.

[17] Maurer P.: Aspekte der Fahrbahngriffigkeit und ihr Einfluss auf erreichbare PKW-Bremsverzögerungen, Schriftenreihe Straßenforschung – Heft 564, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2007.

[18] Zipkes E.: Griffigkeit – Bremsspur – Kraftübertragung, ISETH Mitteilungen – Heft 56, Zürich, 1984.

[19] Schulze K.-H.: Zur quantitativen Bewertung der Rauheit von Straßenoberflächen in Beziehung zum Reibungswiderstand bei Nässe, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, BMV, Heft 103, Bonn, 1970.

[20] Litzka J. u. E. Friedl: Untersuchungen über den maßgebenden Reibungsbeiwert, Bundesministerium für Wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung – Heft 376, Wien 1988.

[21] Breyer G.: Untersuchungen des Laborversuches zur Bestimmung der Polierbarkeit von Straßenbaugesteinen, Dissertation am Institut für Straßenbau und Verkehrswesen der TU Wien, Wien, 1980.

[22] Breyer G.: Der Polierversuch – Teil 1: Untersuchung des Laborversuches, Schriftenreihe Straßenforschung – Heft 223, Bundesministerium für Bauten und Technik, Wien, 1983.

[23] Zieger M.: Polierversuch – Teil 3, Schriftenreihe Straßenforschung – Heft 385, Bundesministerium für Wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien, 1990.

[24] M BgA: Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 758, ISBN 3-937356-30-4, Köln, 2004.

[25] Van der Sluis S., Platen C u. Steinauer B.: Griffigkeit von Straßenoberflächen, Teil 1: Abnahmewert für die Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik – Heft 841; Bonn, 2002.

[26] Dames J. u. Sulten P.: Einfluss der Oberflächenausführung von Betondecken auf die Griffigkeit, Straße und Autobahn – Heft 1; Bonn, 1981.

[27] Steigenberger J.: Neueste Entwicklung im Betonstraßenbau, Aktuelle Trends im Straßenbau, Tagungsband; Spittal a. d. Drau, 2003.

[28] Huschek S.: Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, Straße und Autobahn – Heft 3, Bonn, 1995.

[29] Huschek S., Dames J. u. Rittershofer M.: Griffigkeitsschwankungen von Fahrbahndecken, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik – Heft 574, Bonn, 1989.

[30] Bühlmann F.: Einfluss der Witterung auf die Griffigkeit von Fahrbahnen, ISETH-Mitteilungen, Heft 53, Zürich, 1985.

[31] Schulze K. H.: Griffigkeit und Rauheit, Handbuch des Straßenbaues, Band 1: Grundlagen und Entwurf, Springer-Verlag; Berlin-Heidelberg-New York, 1979.

[32] Wehner B.: Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Intern. Kolloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe in Berlin 1968, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin/München/Düsseldorf, 1970.

[33] HD28/94: Design manual for roads and bridges – Volume 7: Pavement design and maintenance, Skidding resistance, Department for Transport, London, 1994.

[34] Becker R.: Systematische Untersuchungen über Griffigkeitsverhältnisse trockener Fahrbahnen, Forschungsinstitut für Kraftwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart, FKFS-Bericht Nr. 11/1981, Stuttgart, 1981.

[35] Bachmann T.: Wechselwirkung im Reibungsprozess zwischen Reifen und Fahrbahn, Reifen – Fahrwerk – Fahrbahn, VDI Berichte 1494, VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik; Düsseldorf 1999.

[36] Bühlmann F.: Einfluss der Witterung auf die Griffigkeit von Fahrbahnen – Ein Beitrag zur Verkehrssicherheit auf überdachten Strecken, Dissertation an der ETH Zürich, Zürich, 1984.

[37] Reimpell J.: Fahrwerktechnik 1: Kräfte an Gesamtfahrzeug und Reifen, Kinematik und Statik der Radaufhängungen, Konstruktionshinweise, 2. überarbeitete Auflage, Vogel Verlag; Würzburg, 1971.

[38] Dames J.: Wasserfilmdicke und Reibungsbeiwerte, Strassenbautagung Berlin 1970, Kirschbaum Verlag; Bonn - Bad Godesberg 1971.

[39] Hennes R.: Zur Optimierung der Textur von Fahrbahnoberflächen unter besonderer Berücksichtigung der Feuchte, Dissertation, TH Aachen, Aachen1985.

[40] Spielhofer R. u. Maurer P.: Griffigkeitsmessungen bei unterschiedlichen Wasserfilmdicken im Wechselbabschnitt der A2 Südautobahn, Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum arsenal research im Auftrag der Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft (ASFINAG), Wien 2005 (unveröffentlicht).

[41] Frey M.: WSE-Sensor zur Erkennung feuchter, nasser, günstig schnee- und eisbedeckter Fahrbahnoberflächen, Beitrag zum Dynamischen Fahrbahn Informationssystem DFIS, Shaker Verlag, ISBN 3832235965, 2005.

[42] Hase M.: Neue Erkenntnisse zum SCRIM Messverfahren, Asphaltseminar Gütegemeinschaft Griffigkeitsmessungen e.V., Willingen, 2006.

[43] TP Griff-StB (SKM): Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Seitenkraftmessverfahren (SKM), Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 408/1, ISBN 978-3-939715-37-5, Köln, 2007.

[44] Radenberg M. u. Buscham B.: Ermittlung von Grundlagen für einen Bewertungshintergrund für das Messsystem GripTester (LFC) auf kurvenreichen Straßen und Ästen, Schlussbericht für Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Ruhr-Universität Bochum, Bochum, 2007 (unveröffentlicht).

[45] Schenk R.: Die Fahrbahnreibung im Kraftwagenverkehr, Straßenbauverlag Martin Boerner, Halle-Saale, 1928.

[46] Fuchs M.: Griffigkeitsmessung in Österreich, Tagungsband zum Kolloquium Fahrbahngriffigkeit, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung – Heft 13, TU Wien, Wien, 2002.

[47] prCEN/TS 13036-2: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der Griffigkeit von Fahrbahndecken durch Verwendung von dynamischen Messsystemen, Europäisches Komitee für Normung (CEN/TC 227), Brüssel, März 2009.

[48] Do M. and Roe P.: Report on state-ot-the-art test methodes, Tyre and Road Surface Optimisation for Skid Resistance and Further Effects (TYROSAFE), Deliverable 04, Workpackage 2: Harmonisation of skid resistance methods and choice of reference surfaces, 2008.

[49] Giles C.G., Sabey B.E. and Cardew K.H.: Development and performance of the portable skid resistance tester, Department of Scientific and Industrial Research, Road Research Technical Paper No. 66, HMSO, London, 1964.

[50] Achleitner M.: Untersuchungen zur Griffigkeits- und Texturmessung, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien, Wien, 2007.

[51] ÖNORM EN 13036-4: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren, Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2003.

[52] Maurer P., Meissner M., Fuchs M., Gruber J. u. Foissner P.: Straßenzustandserfassung mit dem RoadSTAR, Messsystem und Genauigkeit, Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.: ISBN: 3-9500844-4-4, Wien, 2002.

[53] Janisch G.: Untersuchungen zur Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit der Messergebnisse des GripTesters, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien, Wien, 2002.

[54] Pilles J.: Vergleichende Untersuchungen zur Erfassung der Straßengriffigkeit mit dem GripTester, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien, Wien, 2002.

[55] Findlay Irvine: Maintenance Manual – GripTester, Midlothian, 1996.

[56] Findlay Irvine: GripTester MK2 D-type Maintenance Manual, Issue 4, Midlothian, 2008.

[57] Mechatronic: Bewässerungssystem GT-BW-01 Bedienungsanleitung Version 1.1, Darmstadt, 1996.

[58] Findlay Irvine: GripTester Automatic Watering System Operations Manual, Issue 2, Midlothian, 2005.

[59] Mechatronic: RoadManager – Modul Grip-Erfassung Benutzerhandbuch, Darmstadt, 2004.

[60] Findlay Irvine: RoadBase GripTester Survey Software for Roads User Manual, Issue 2, Midlothian, 2002.

[61] Horat M. u. Caprez M.: Kalibrieren, Vergleichen und Harmonisieren der Griffigkeitsmessungen und Oberflächenrauhigkeitsmessungen mit internationalen Institutionen (AIPCR-Ringversuch 1992), Forschungsauftrag VSS 1992/005, Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute (VSS), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich – ETHZ, Zürich, 2006.

[62] Lindenmann H.P., Schiffmann F.: Stuttgarter Reibungsmesser (SRM), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, http://www.ivt.ethz.ch/iv/measuring/srm, 2009.

[63] Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem SRM, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 409, ISBN 3-937356-26-6, Köln, 2004.

[64] Schmidt J.: SKM Messfahrzeug zur Bestimmung der Griffigkeit, IWS Messtechnik GmbH, http://www.iwsmesstechnik.de, 2009.

[65] Huschek S.: Vergleich unterschiedlicher SCRIM-Messgeräte, CEN TC 277 WG5, 2004 (unveröffentlicht).

[66] Löffler.: MINI SKM, Dr. Ing. Löffler Consulting und Engineering Baustoffprüfung und Umwelt GmbH, http://www.mini-skm.de, 2009.

[67] Norsemeter Friction AS: ROAR, http://www.norsemeter.no, 2009.

[68] Clague S., Baran E.: Skid Resistance – District Implications and Applications, Road System and Engineering Technology Forum; Australien, 2005.

[69] LCPC: Adhera 2 road pavement skid measurement, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, http://www.lcpc.fr, 2009.

[70] Vectra: Adhera 2 road pavement skid measurement, VECTRA au Service de la Route, http://www.vectra.fr, 2009.

[71] Windhoff: Skiddometer BV11, Windhoff Vamas- Airport Equipment GmbH, http://www.lwindhoff-vammas.de, 2009.

[72] Partia: Produktbeschreibung Skiddometer BV 11;, Partia Vammas AEC, http://www.patria.fi, 2009.

[73] VTI: Portable Friction Tester, Statens väg-och transportforskningsinstiut (VTI), http://www.vti.se, 2009.

[74] ASFT: T2GO Technical Specification, ASFT Industries AB, http://www.asft.se, 2009.

[75] ÖNORM EN 13036-3: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren, Teil 3: Messung der horizontalen Entwässerung von Deckschichten, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2003.

[76] RVS 13.01.15: Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR, Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Wien, 2006.

[77] RVS 05.03.12: Auswahl von Bodenmarkierungen, Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Wien, 2007.

[78] ÖNORM EN 1436: Straßenmarkierungsmaterialien – Anforderungen an Markierungen auf Straßen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2003.

[79] ÖNORM B 3591: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen, Bestimmung der Griffigkeit von Oberflächen durch Messung des Griffigkeitskoeffizienten in Längsrichtung mit dem System RoadSTAR (μ-RoadSTAR), Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2007.

[80] Dames J., Merckens R. u. Bergmann J.: Neuermittlung des Bewertungshintergrundes für Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik – Heft 413, Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 1984.

[81] Tiefenbacher H.: Die Griffigkeit des österreichischen Bundesstraßennetzes und ihre Bewertung, Vorträge zu Straßenbau und Straßenerhaltung, Spittal an der Drau, 1999.

[82] Tiefenbacher H.: Griffigkeitsanforderungen aus der Sicht der Österreichischen Bundesstraßenverwaltung, Tagungsband zum Kolloquium Fahrbahngriffigkeit, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung – Heft 13, TU Wien, Wien, 2002.

[83] Österr. Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.: Bericht über Griffigkeitsmessungen im Bundesstraßennetz Österreich, Messkampagne 1991, Wien, 1992 (unveröffentlicht).

[84] Österr. Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.: Bericht über Griffigkeitsmessungen im Bundesstraßennetz Österreich, Messkampagne 1993/94, Wien, 1994 (unveröffentlicht).

[85] Österr. Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.: Bericht über Griffigkeits- und Spurrinnenmessungen im Bundesstraßennetz und deren Auswertung, Messkampagne 1995/96, Wien, 1997 (unveröffentlicht).

[86] Gruber J., Maurer P. u. Foissner P.: 3. Messkampagne 2004/2005 im Streckennetz der ASFINAG – Zustandserfassung des 1. Fahrstreifens mit dem Hochleistungsmessgerät RoadSTAR im Auftrag der Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG), Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Geschäftsfeld Verkehrswege, Wien, 2006 (unveröffentlicht).

[87] Maurer P., Steigenberger J. u. Gruber J.: Ursachenanalyse hinsichtlich Griffigkeitsmängel neuer Fahrbahndecken in Tunnelbauwerken – Phase 1, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Geschäftsfeld Verkehrswege, Wien, 2006 (unveröffentlicht).

[88] Bartelsberger R.: Rechtsgutachten zur deutschen Richtlinie Straßengriffigkeit bei Nässe, Uttenreuth, 1999 (unveröffentlicht).

[89] ZTV Asphalt-StB 07: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 799, ISBN 978-3-939715-68-9, Köln, 2007.

[90] ZTV Beton-StB 07: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 899, ISBN 978-3-939715-58-0, Köln, 2007.

[91] TP Griff-StB (SRT): Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Messverfahren SRT, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 408/2, ISBN 3-937356-45-2, Köln, 2004.

[92] ZTV ZEB-StB: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 988, ISBN 3-939715-03-4, Köln, 2006.

[93] Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren (GripTester), Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 411, ISBN 978-3-939715-22-1, Köln, 2007.

[94] Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem SRM, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 409, ISBN 3-937356-26-6, Köln, 2004.

[95] ZTV M 02: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 341, Köln, 2002.

[96] Becker W.: Bewertungshintergrund für Griffigkeitsmessungen auf Bundesautobahnen mit der SCRIM, 2. Internationales Symposium über Oberflächeneigenschaften von Fahrbahnen, Tagungsbericht, Berlin, 1992.

[97] DAV: Asphaltdeckschichten mit anforderungsgerechter Griffigkeit, Maßnahmen zur Planung und Ausführung, Deutscher Asphaltverband e.V., Bonn, 2006.

[98] BS 7941-1: Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces – Part 1: Sideway-force coefficient routine investigation machine, British Standard Institution (BSI), London, 2006.

[99] BS 7941-2: Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces – Part 2: Test method for measurement of surface skid resistance using the GripTester braked wheel fixed slip device, British Standard Institution (BSI), London, 2000.

[100] HD28/04: Design manual for roads and bridges – Volume 7: Pavement design and maintenance, Section 3: Pavement maintanance assessment, The Highways Agency, London, 2004.

[101] Walsh C.: UKPMS User Manual, Volume 3, Machine Data Collection for UKPMS – GripTester, UKPMS Support Office, Surrey, 2005.

[102] prCEN/TS 15901-7: Oberflächeneigenschaften von Straßen- und Flugfeldbelägen – Technische Spezifikation zur Bestimmung der Griffigkeit von Belagsoberflächen durch Messung des LFCG: GripTester, Europäisches Komitee für Normung (CEN/TC 227), (in Bearbeitung).

[103] prCEN/TS 15901-1: Oberflächeneigenschaften von Straßen- und Flugfeldbelägen – Technische Spezifikation zur Bestimmung der Griffigkeit von Belagsoberflächen durch Messung des LFCS: RoadSTAR, Europäisches Komitee für Normung (CEN/TC 227), (in Bearbeitung).

[104] ICAO: Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes – Volume 1: Aerodrome Design and Operations, International Civil Aviation Organization (ICAO), 2002.

[105] ICAO: Airport Services Manual – Part 2: Pavement Surface Conditions, International Civil Aviation Organization (ICAO), 2002.

[106] DIN ISO 5725-1: Genauigkeit von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe, Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin, 1997.

[107] DIN ISO 5725-2: Genauigkeit von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens, Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin, 2002.

[108] DIN ISO 5725-6: Genauigkeit von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 6: Anwendung von Genauigkeitswerten in der Praxis, Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin, 2002.

[109] DIN 55350-13: Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik; Begriffe zur Genauigkeit von Ermittlungsverfahren und Ermittlungsergebnissen, Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin, 1987.

[110] Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 1: Grundlagen zur Präzision von Prüfverfahren, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 926/1, Köln, 2000.

[111] Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 2: Erkennen und Behandeln von Ausreißern, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 926/2, Köln, 2003.

[112] Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 4: Auswertung von Ringversuchen und Errechnung von Prüffehlern, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Nr. 926/4, Köln, 1982.

[113] Kreyszig E.: Statistische Methoden und ihre Anwendung, 3. Auflage, Vadenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1968.

[114] Lindner A.: Statistische Methoden, 4. Auflage, Mathematische Reihe, Band 3, Birkhäuser Verlag, Basel, 1964.

[115] Bald J.S., Lutz P., Pehlke A. u. Weidich P.: Ermittlung der Präzision des Messsystems „Schlupf-Messanhänger“ SRMT, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FE 89.079/2000 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Darmstadt, 2002 (unveröffentlicht).

[116] TRL: A Comparison of SCRIM and GripTester – Report of a further trial in September 1993, Transport Research Laboratory, Crowthorne, 1993.

[117] Eigl W.: Ringversuch Griffigkeitsmessung – Erfassung der Messgenauigkeit des Messsystems GripTester, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien, Wien, 2003.

[118] Findlay Irvine: Report on Correlation of SCRIM with Mark 2 GripTester Trial at TRL, Jacobs Babtie, Glasgow, 2004.

[119] Gruber J. u. Maurer P.: Zustandserfassung der Straßenoberfläche auf Bundesstraßen B, Schriftenreihe Straßenforschung – Heft 542, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2004.

[120] RVS 11.06.66: Lasertexturmessung mit dem System RoadSTAR, Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Wien, 2004.

[121] ÖNORM EN 13036-1: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren, Teil 1: Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines volumetrischen Verfahrens, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2001.

[122] ÖNORM EN ISO 13473-1: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2004.

[123] Fuchs M.: Internationaler PIARC Ringversuch Straßengriffigkeit, Bundesministerium für Wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung – Heft 456, Wien, 1996.

[124] Henry J. and Marasteanu M.: Models to Harmonize Methods for Measuring Road Friction, Second International Symposium on Road Surface, Characteristics, Berlin, 1992.

[125] FEHRL: Report 2006/01, Harmonization of European Routine and research Measuring Equipment for Skid Resistance, ISSN 1362-6019, Forum of European National Highway Research Laboratories, Belgium, 2006.

[126] prCEN/TS 13036-2: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der Griffigkeit von Fahrbahndecken durch Verwendung von dynamischen Messsystemen, Europäisches Komitee für Normung (CEN/TC 227), Brüssel, 2002 (Entwurf).

[127] Maurer P., Meisner M., Foissner P. u. Gruber J.: Griffigkeits- und Makrotexturuntersuchungen an neu hergestellten Fahrbahndecken, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Geschäftsfeld Verkehrswege (unveröffentlicht).

[128] Vos E. and Groenendijk J.: Report on analysis and findings of previous skid resistance harmonisation research projects, Tyre and Road Surface Optimisation for Skid Resistance and Further Effects (TYROSAFE), Deliverable 05, Workpackage 2: Harmonisation of skid resistance methods and choice of reference surfaces, 2009.

[129] Nitsche P. and Spielhofer R.: Report on policies and standards concerning skid resistance, rolling resistance and noise emissions, Tyre and Road Surface Optimisation for Skid Resistance and Further Effects (TYROSAFE), Deliverable 06, Workpackage 1: Policies of EU countries for skid resistance, rolling resistance and noise emissions, 2009.

[130] Roe P. and Do M.: Report on state-of-the-art of test surfaces for skid resistance, Tyre and Road Surface Optimisation for Skid Resistance and Further Effects (TYROSAFE), Deliverable 07, Workpackage 2: Harmonisation of skid resistance methods and choice of reference surfaces, 2009.

[131] Schramm E.J.: Reibung von Elastomeren auf rauen Oberflächen und Beschreibung von Nassbremseigenschaften von Pkw-Reifen, Dissertation an der Universität Regensburg, 2002.

[132] Steinauer B., Ueckermann A., Meyer A. u. Schulze C.: Nachhaltiger Straßenbau, Teil II: Entwurfs- und Prognoseinstrumentarium für die Griffigkeit von Fahrbahndecken aus Asphalt, Schlussbericht. Institut für Straßenwesen, RWTH Aachen, 2008.

[133] Schulze K.-H.: Zur quantitativen Bewertung der Rauheit von Straßenoberflächen in Beziehung zum Reibungswiderstand bei Nässe, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 103, Bonn, 1970.

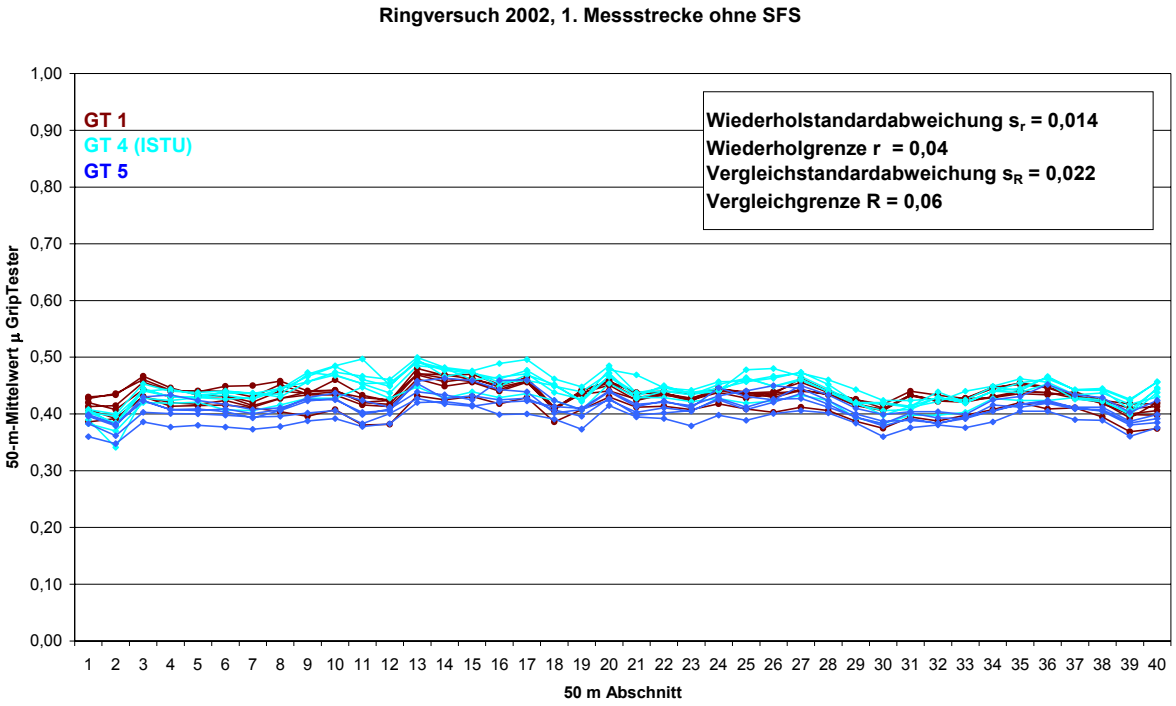
[134] Huschek S.: Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze, Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung – Heft 13, Wien, 2002.

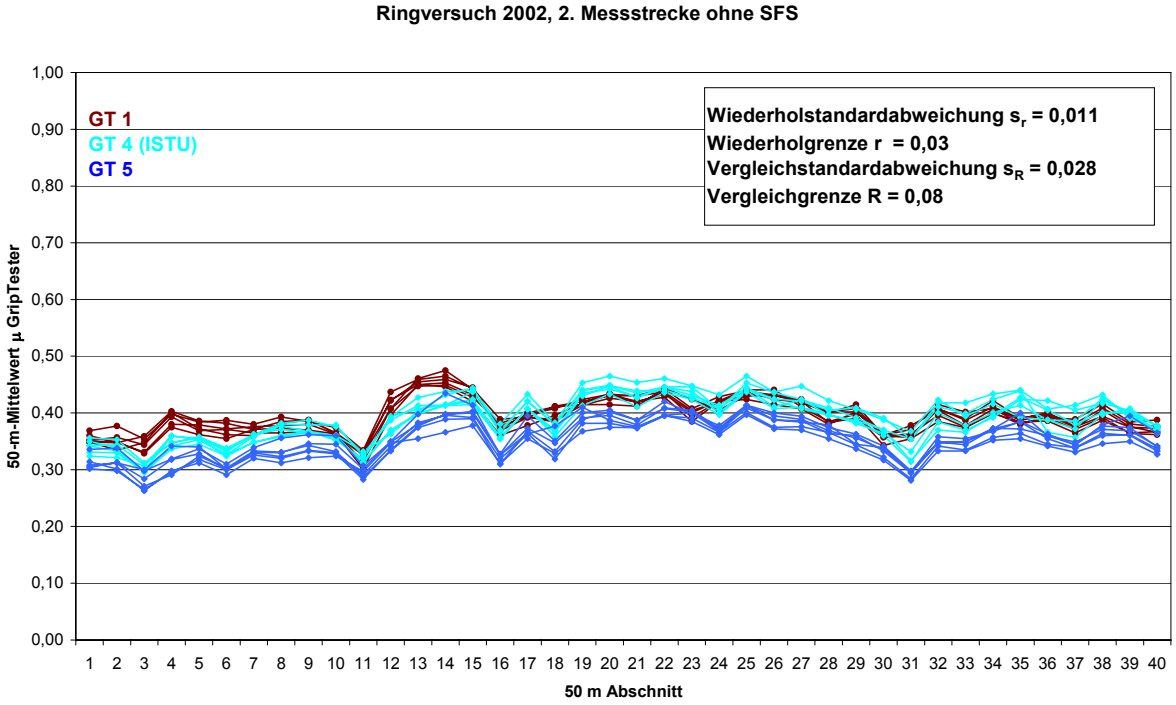
[135] Kirchmaier L.: Bewertung der Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung an der TU Wien, 2007.

[136] Litzka J.: Griffigkeitsmessungen auf Schienenstraßen, Untersuchungen im Auftrag der MA 46, Wien, 1999 (unveröffentlicht).

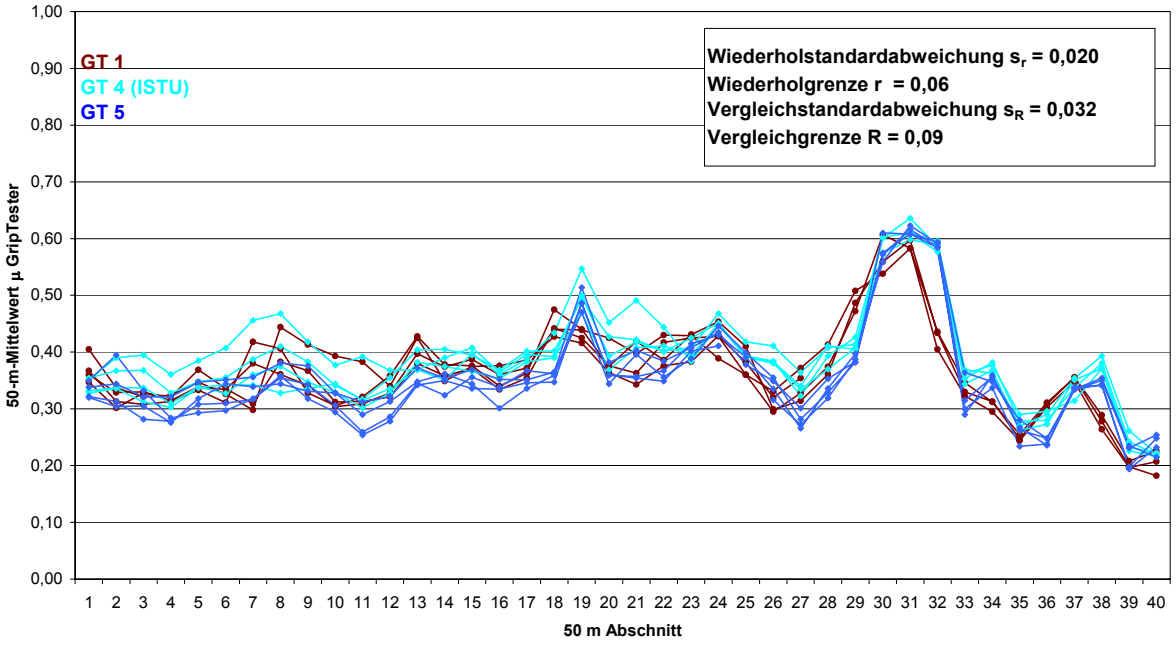
Anhang A: GripTester Ringversuche in Deutschland (2002, 2003 und 2004)

Ringversuch 2002 – Messungen ohne Spurführungssystem

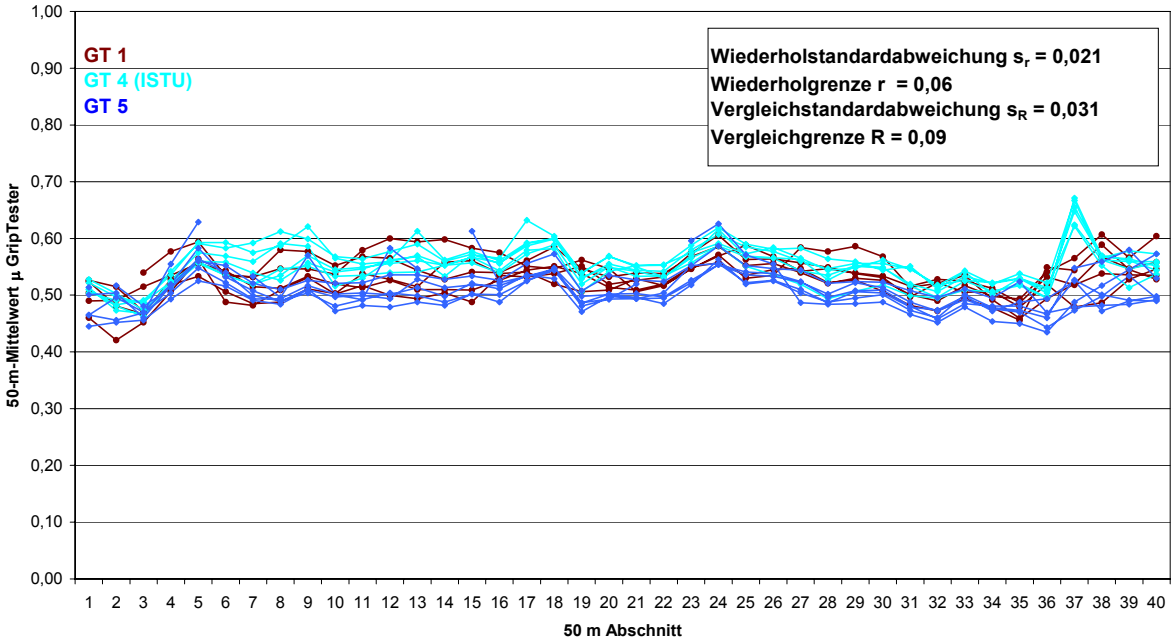




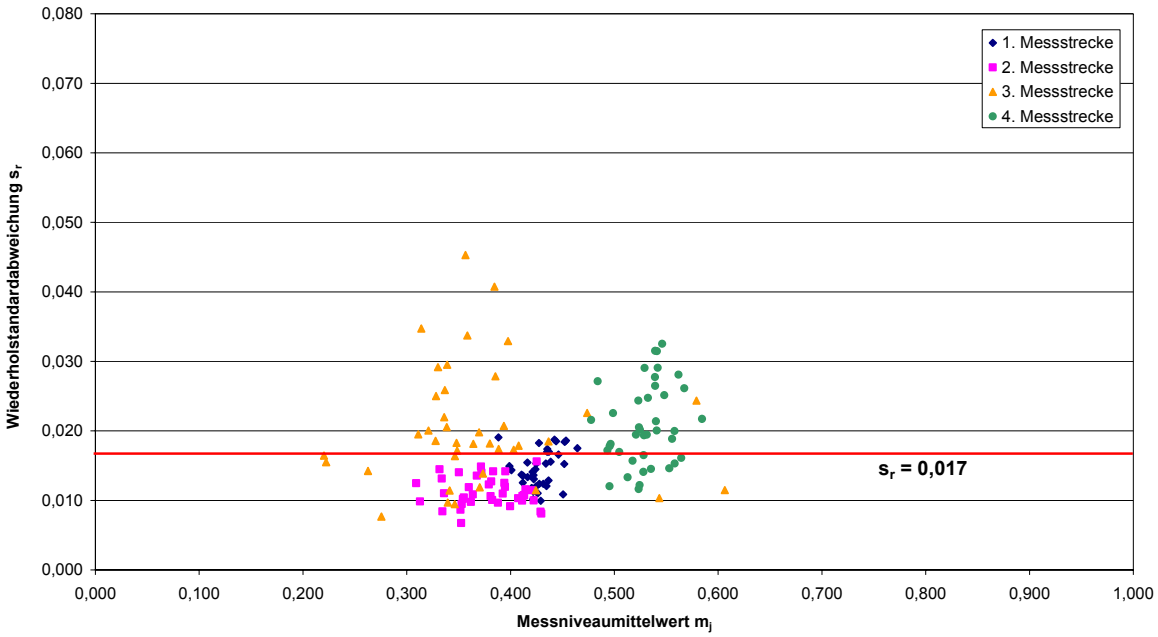
Ringversuch 2002, 3. Messstrecke ohne SFS



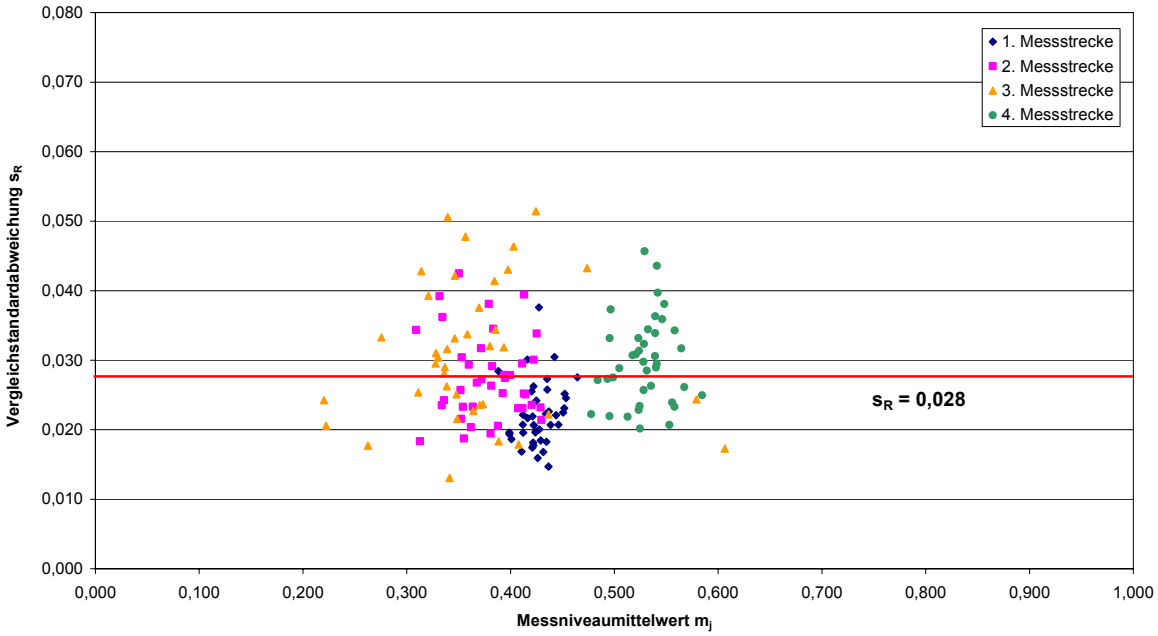
Ringversuch 2002, 4. Messstrecke ohne SFS



Funktionale Beziehung m_j und s_r Ringversuch 2002 ohne SFS

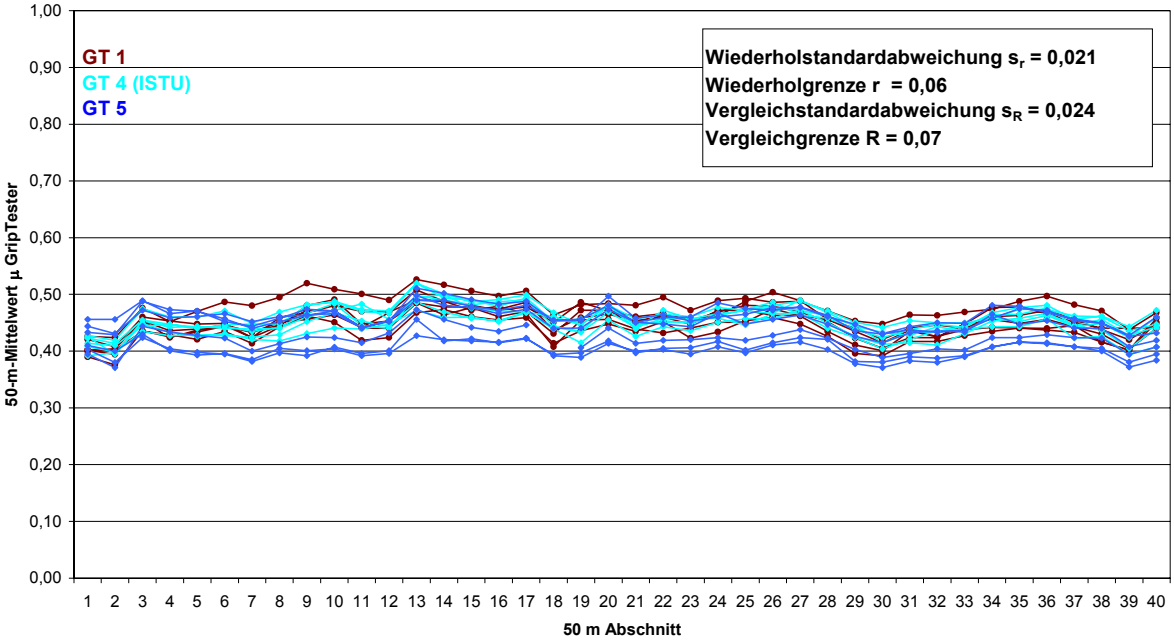


Funktionale Beziehung m_j und s_R Ringversuch 2002 ohne SFS

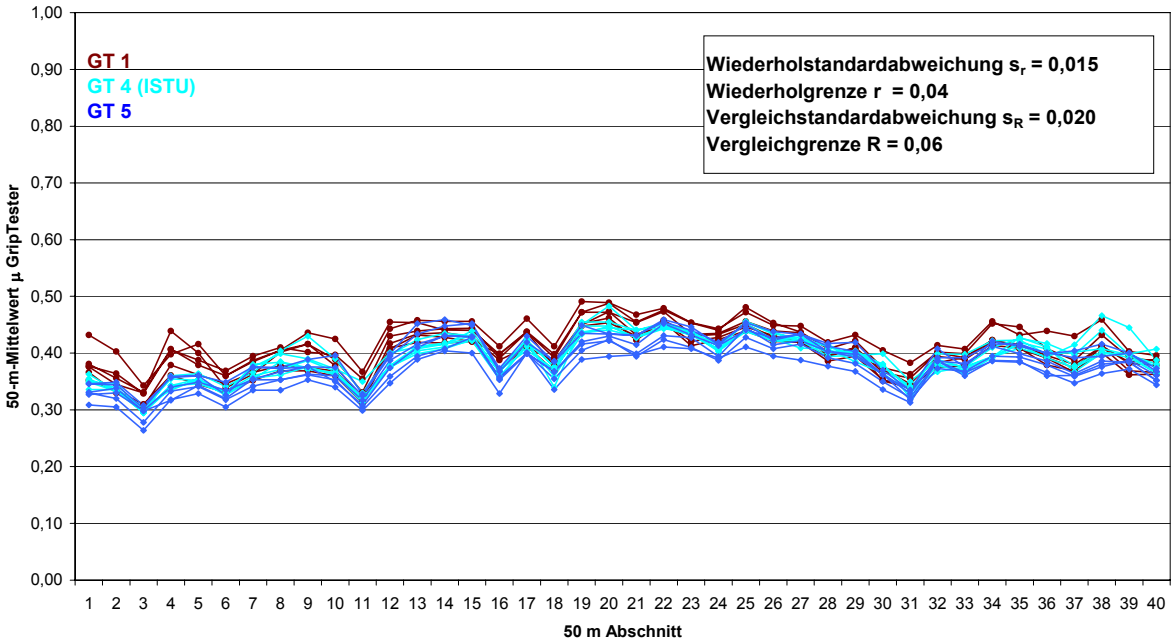


Ringversuch 2002 – Messungen mit Spurführungssystem

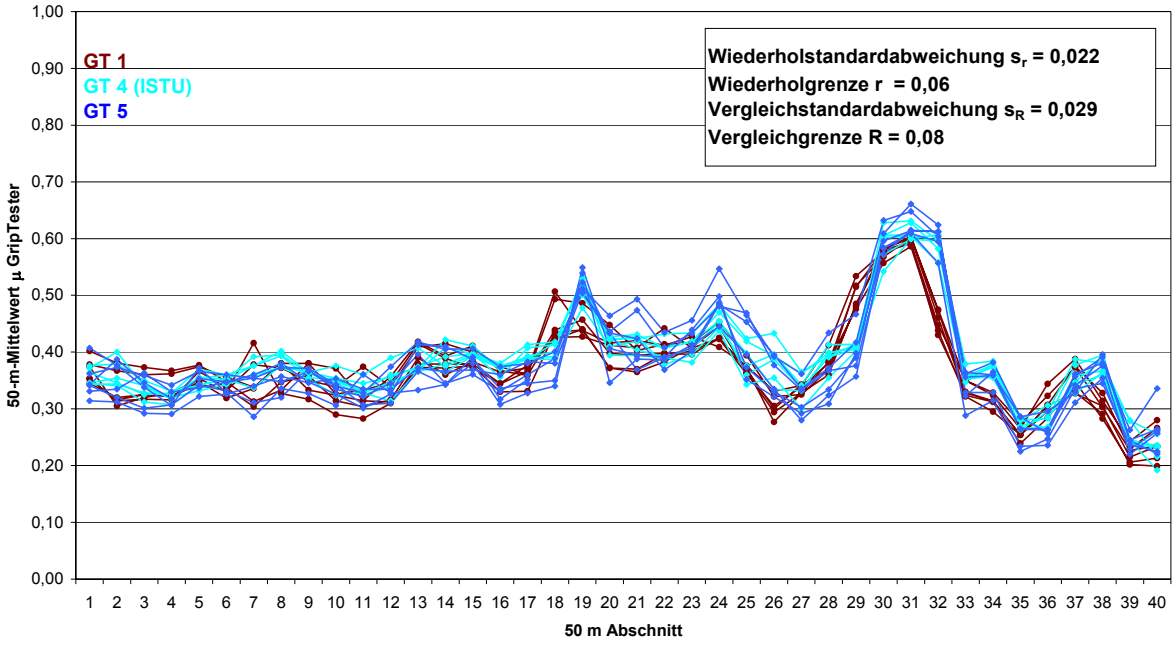
Ringversuch 2002, 1. Messstrecke mit SFS



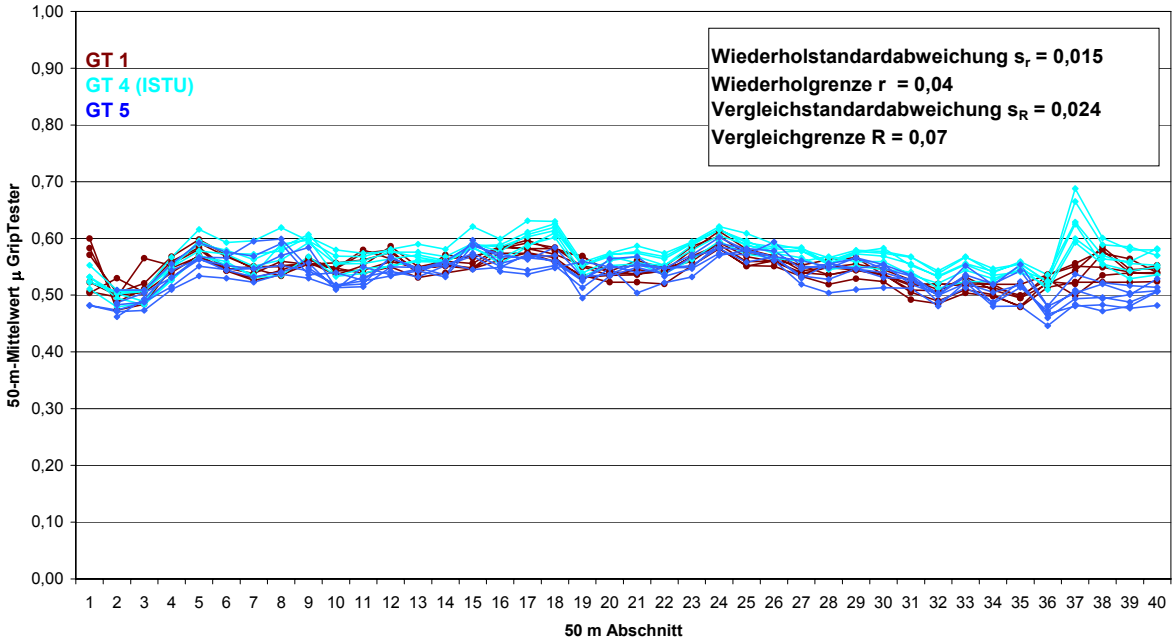
Ringversuch 2002, 2. Messstrecke mit SFS



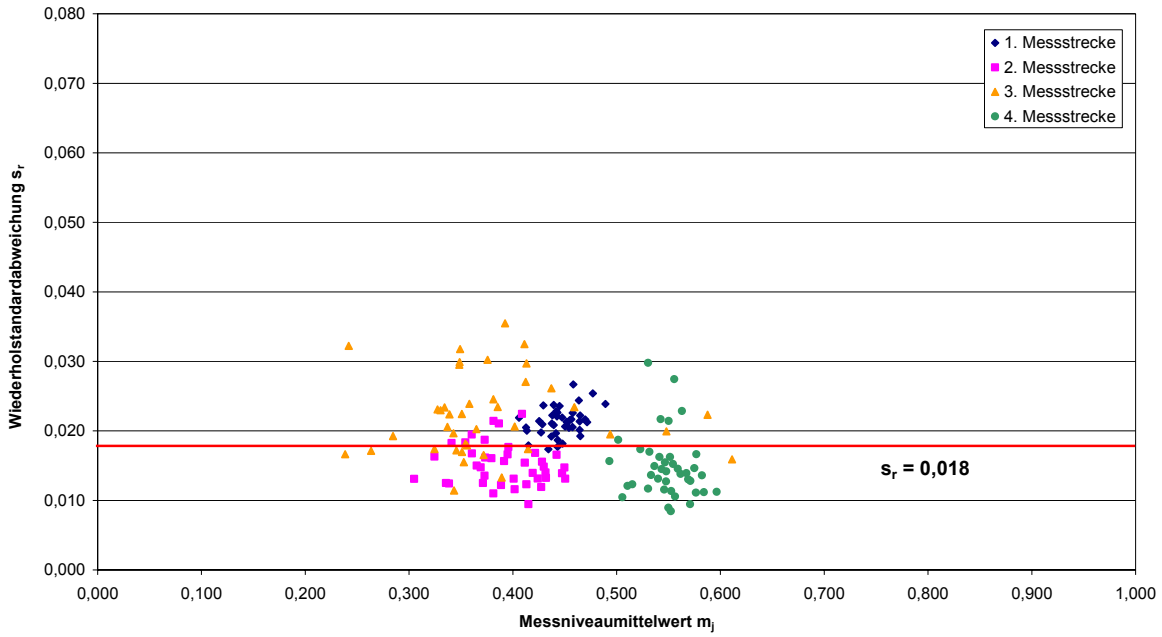
Ringversuch 2002, 3. Messstrecke mit SFS



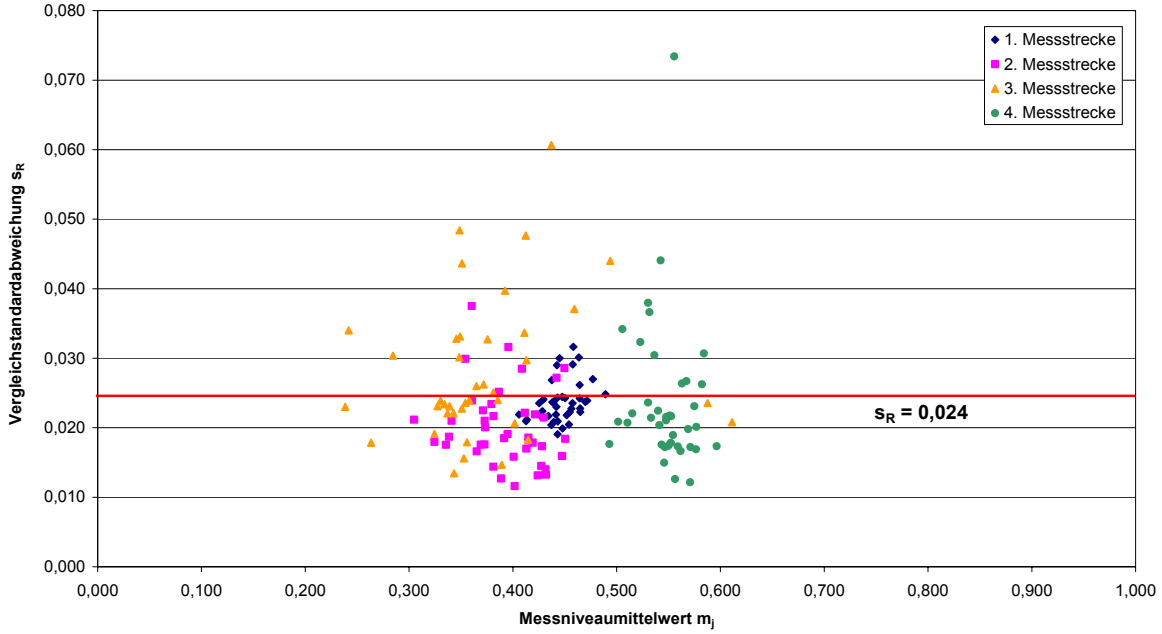
Ringversuch 2002, 4. Messstrecke mit SFS



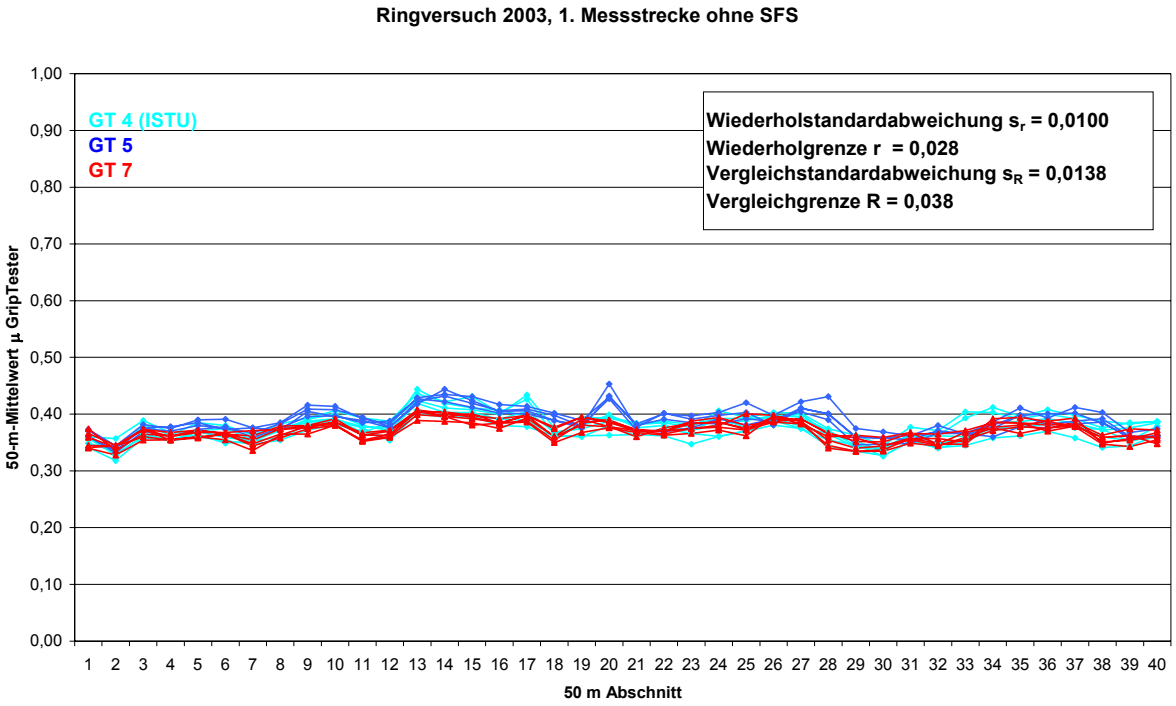
Funktionale Beziehung m_j und s_r Ringversuch 2002 mit SFS

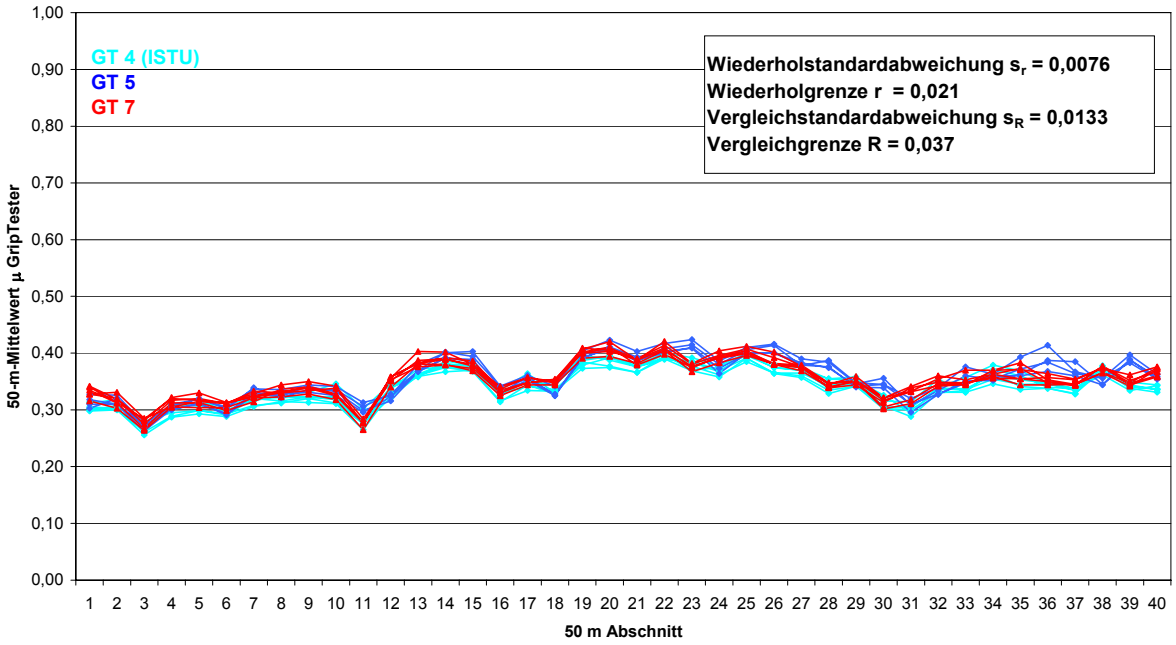


Funktionale Beziehung m_j und s_R Ringversuch 2002 mit SFS

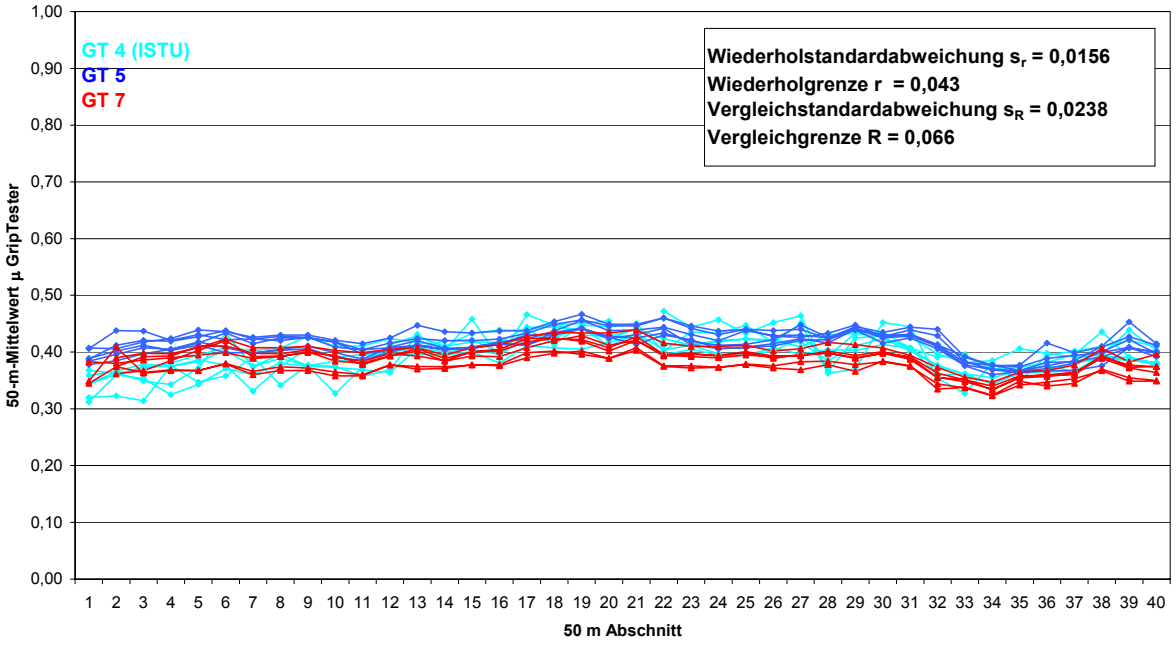


Ringversuch 2003 – Messungen ohne Spurführungssystem

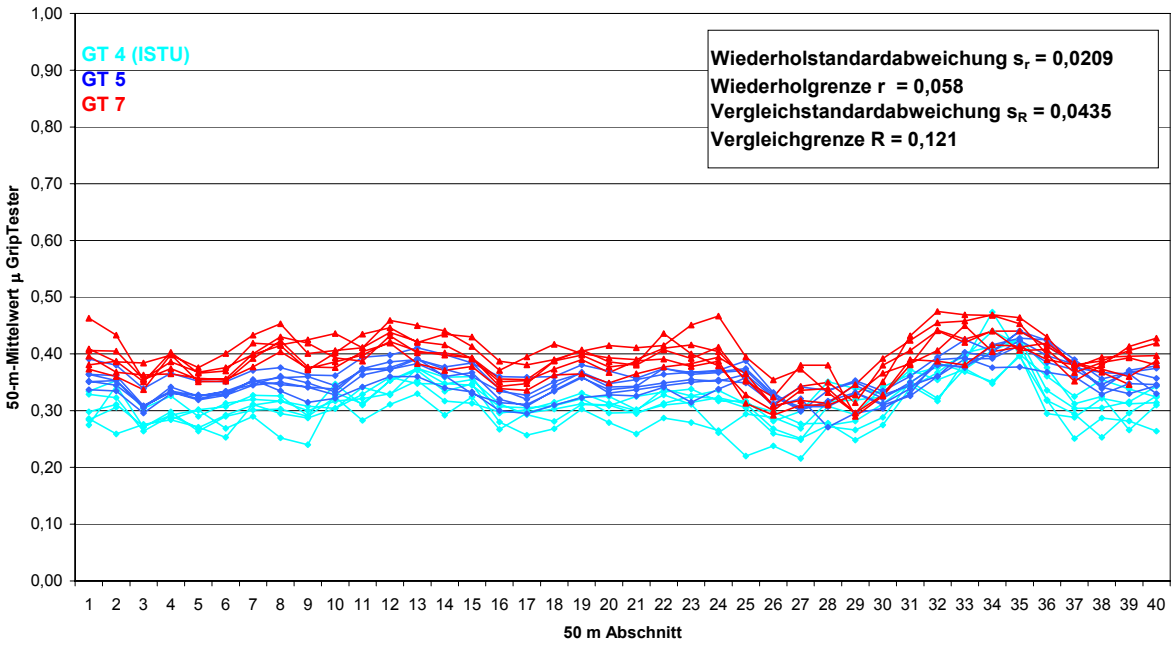




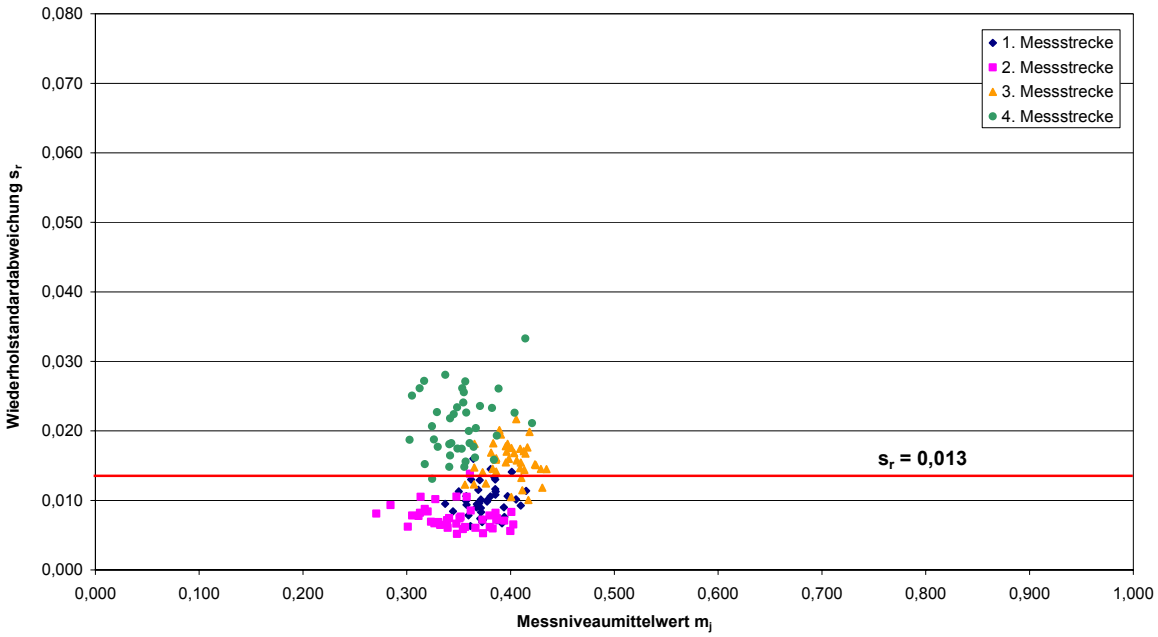
Ringversuch 2003, 3. Messstrecke ohne SFS



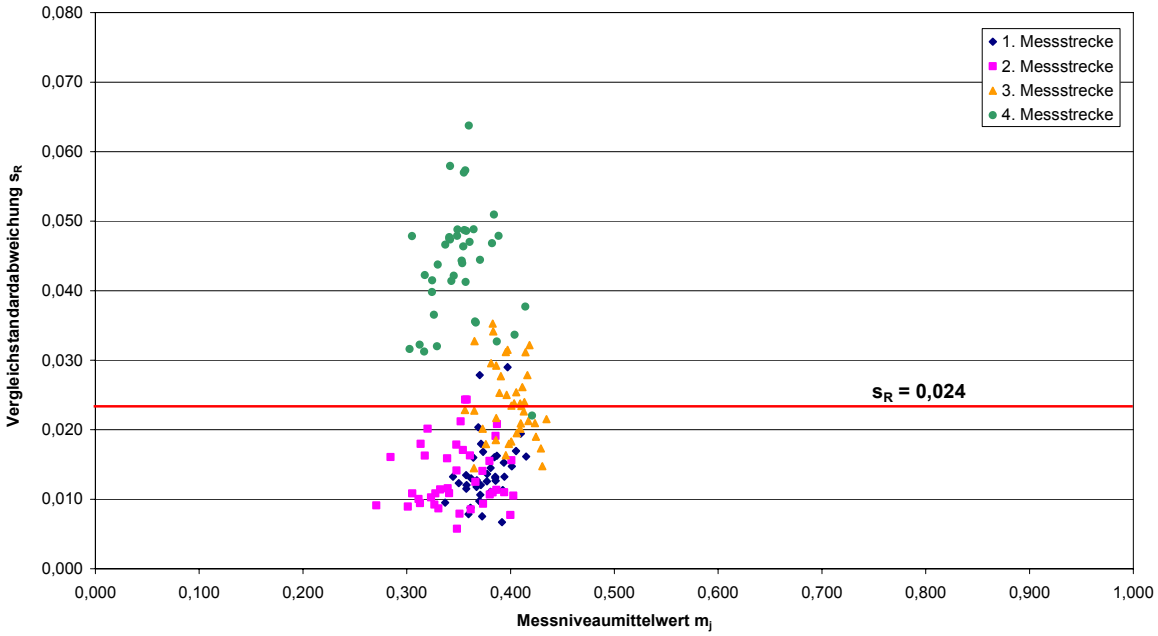
Ringversuch 2003, 4. Messstrecke ohne SFS



Funktionale Beziehung m_j und s_r Ringversuch 2003 ohne SFS

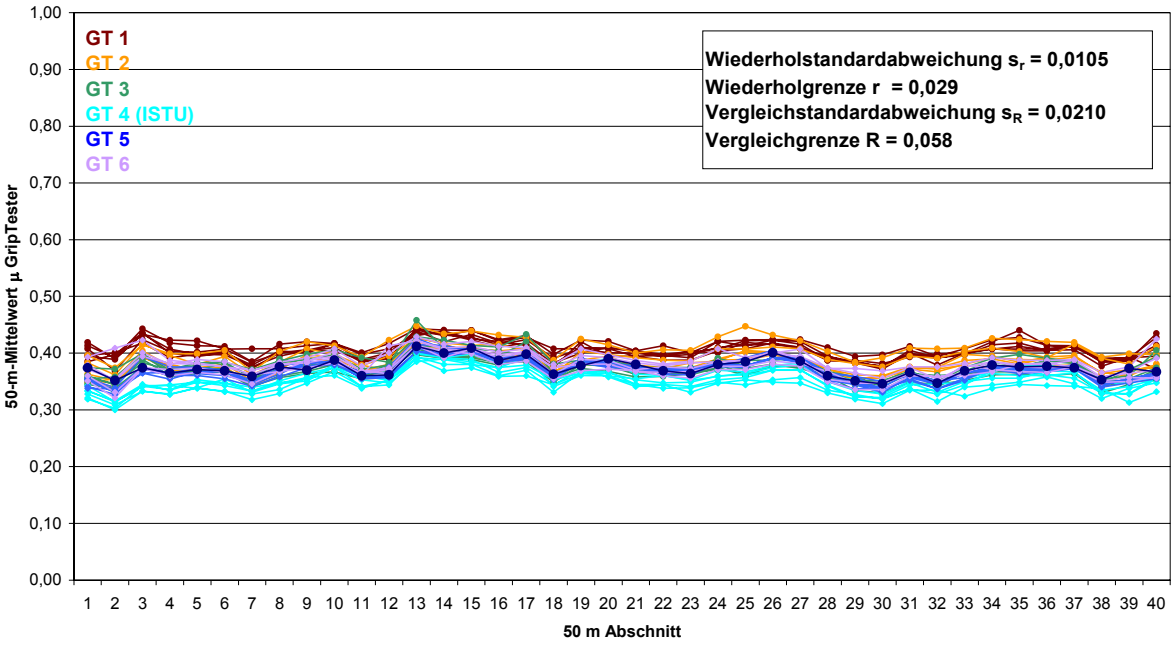


Funktionale Beziehung m_j und s_R Ringversuch 2003 ohne SFS

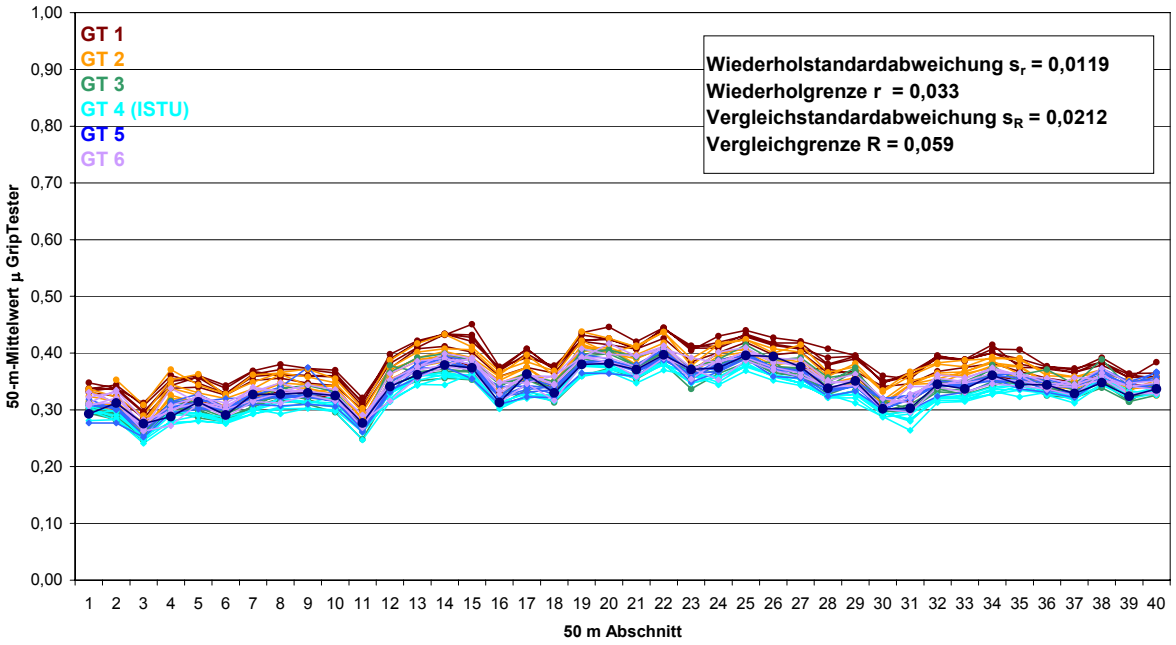


Ringversuch 2003 – Messungen mit Spurführungssystem

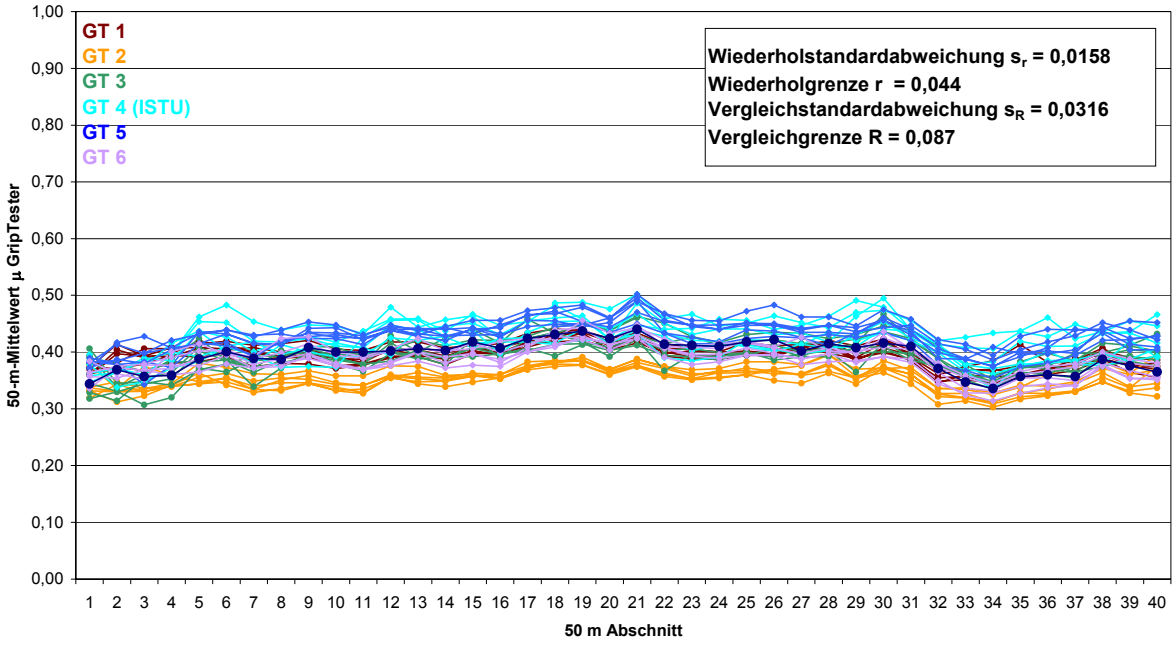
Ringversuch 2003, 1. Messstrecke mit SFS



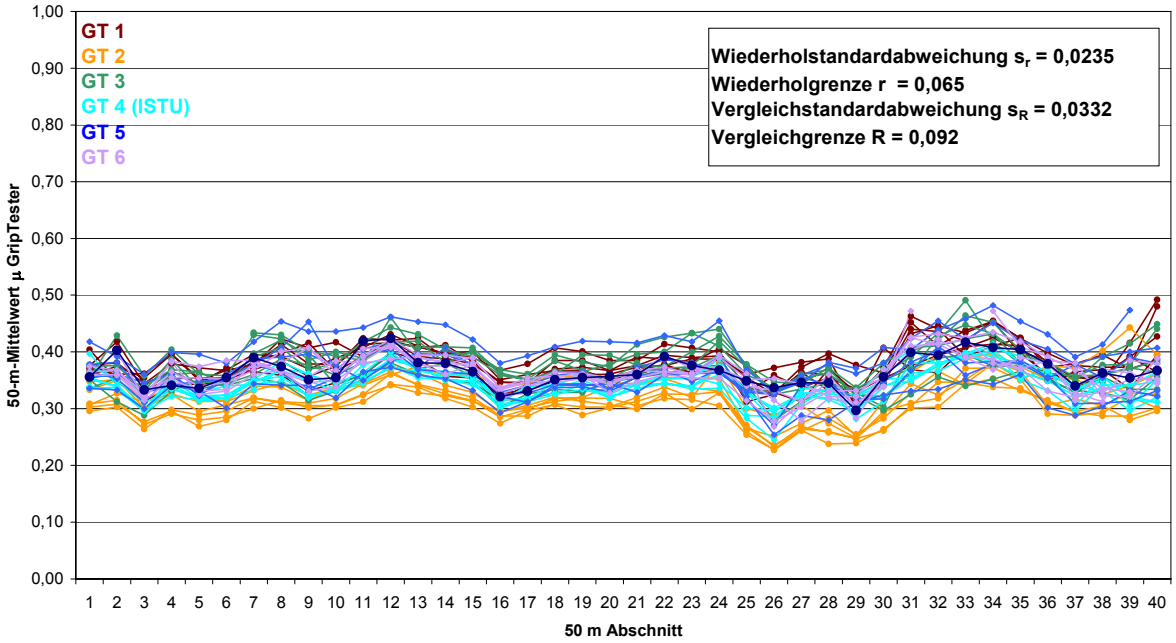
Ringversuch 2003, 2. Messstrecke mit SFS



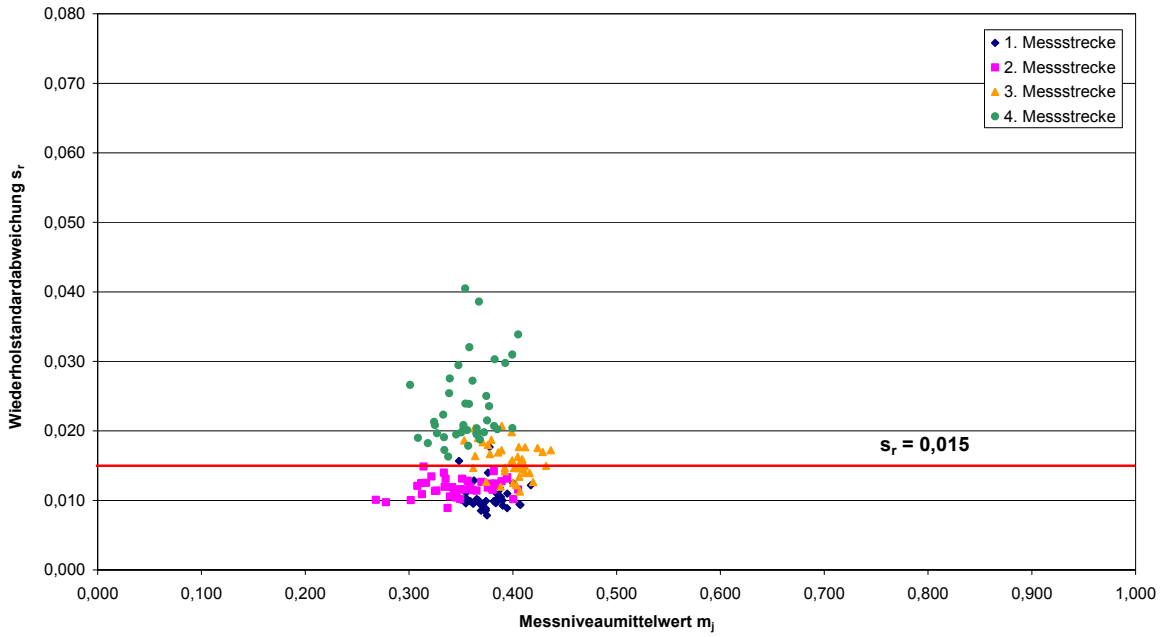
Ringversuch 2003, 3. Messstrecke mit SFS



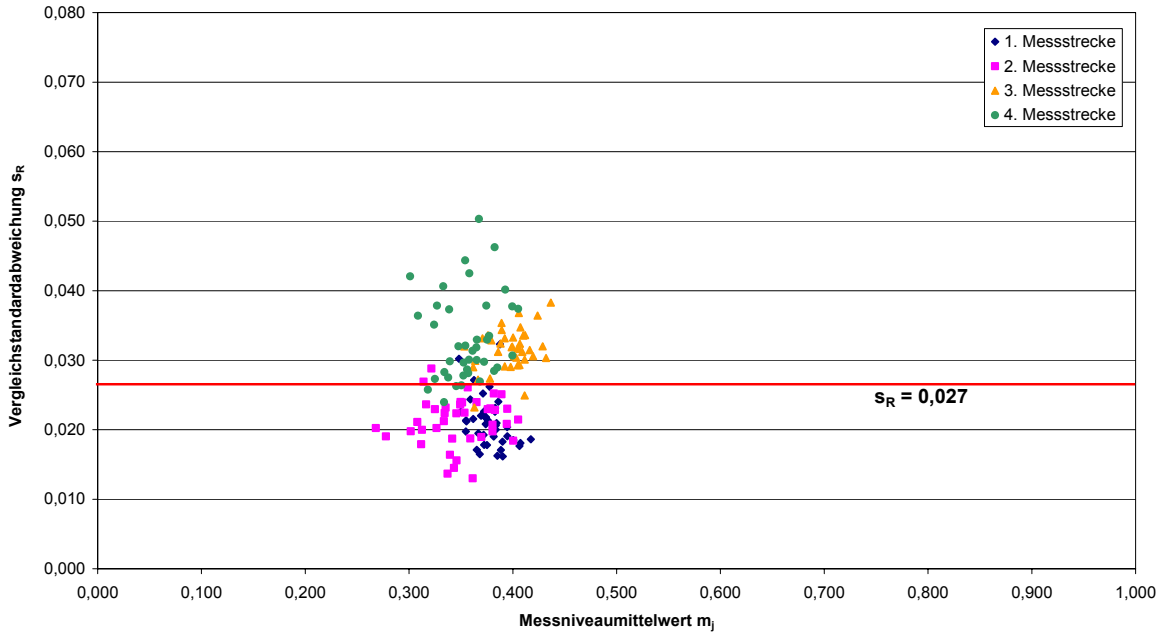
Ringversuch 2003, 4. Messstrecke mit SFS



Funktionale Beziehung m_j und s_r Ringversuch 2003 mit SFS

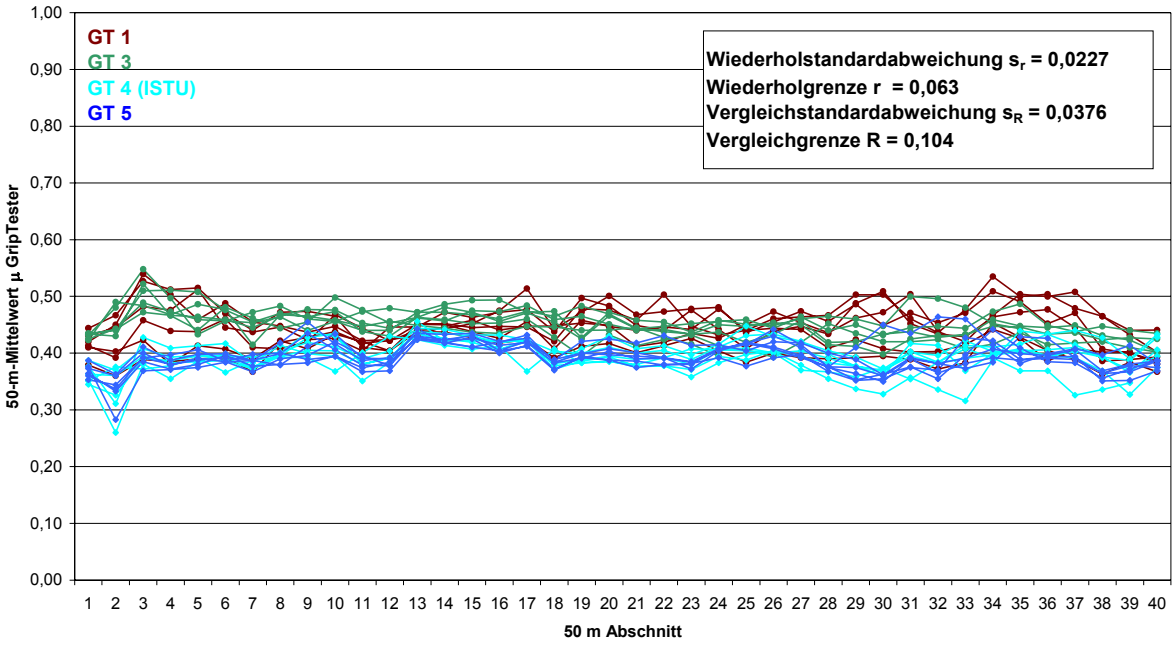


Funktionale Beziehung m_j und s_R Ringversuch 2003 mit SFS

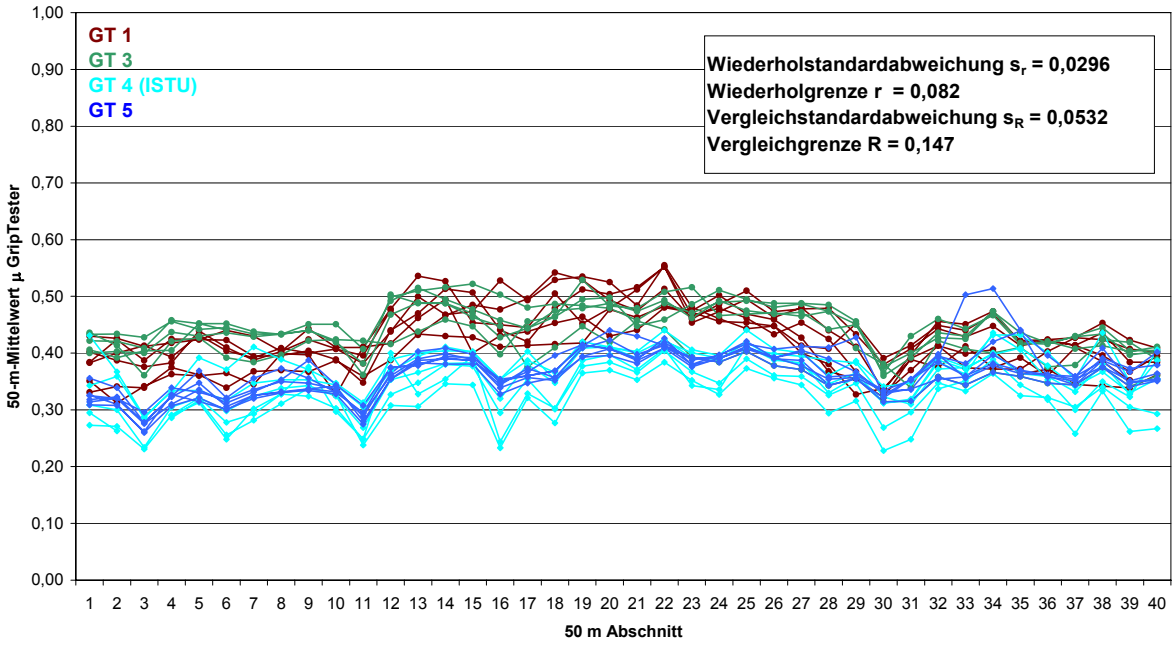


Ringversuch 2003 – Messungen mit Videosystem

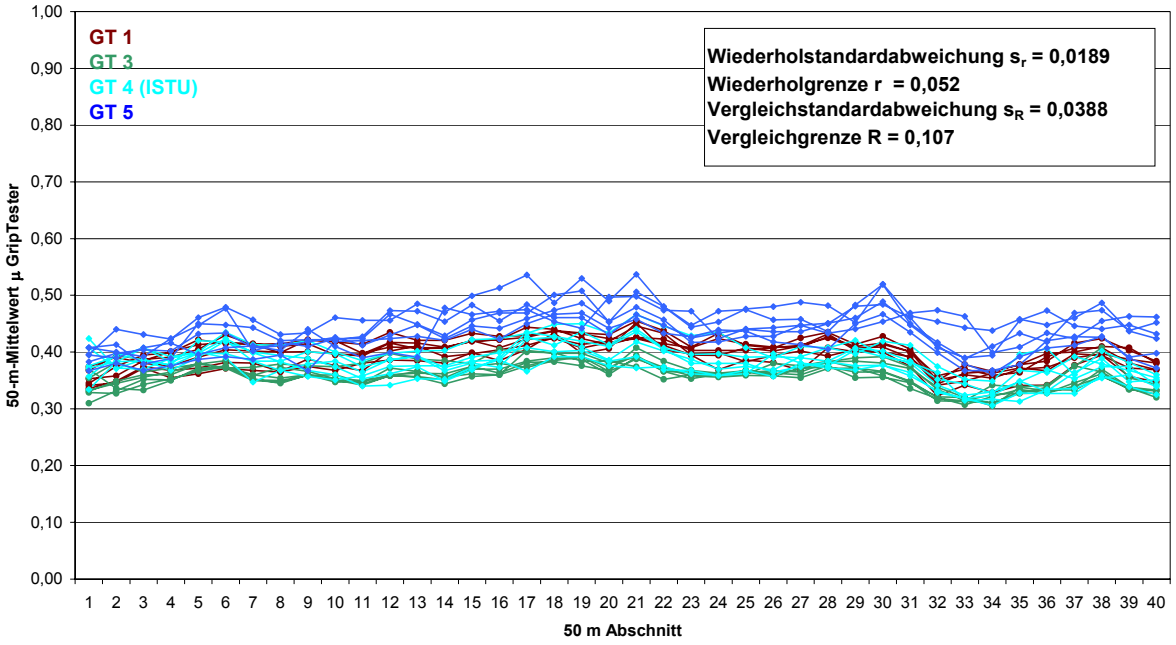
Ringversuch 2003, 1. Messstrecke mit Videosystem



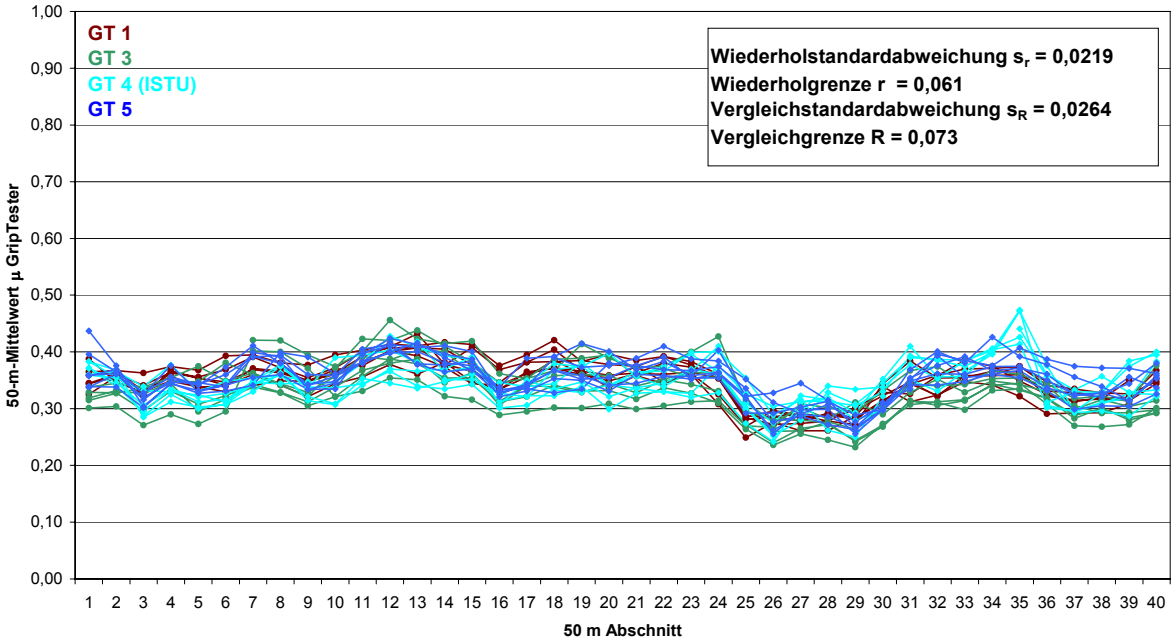
Ringversuch 2003, 2. Messstrecke mit Videosystem



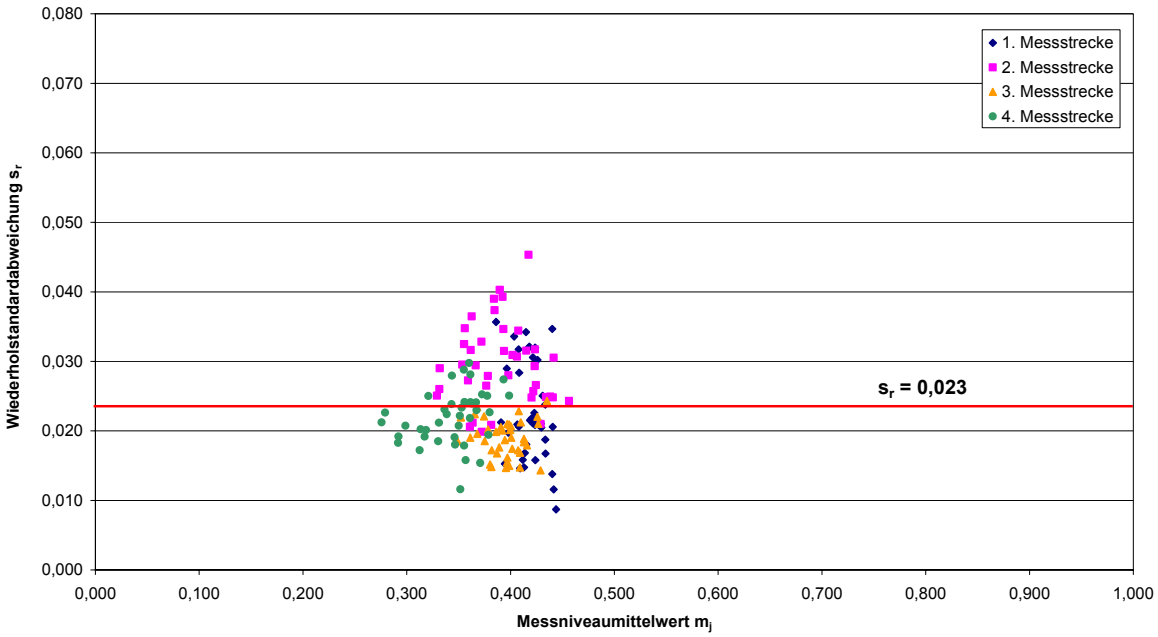
Ringversuch 2003, 3. Messstrecke mit Videosystem



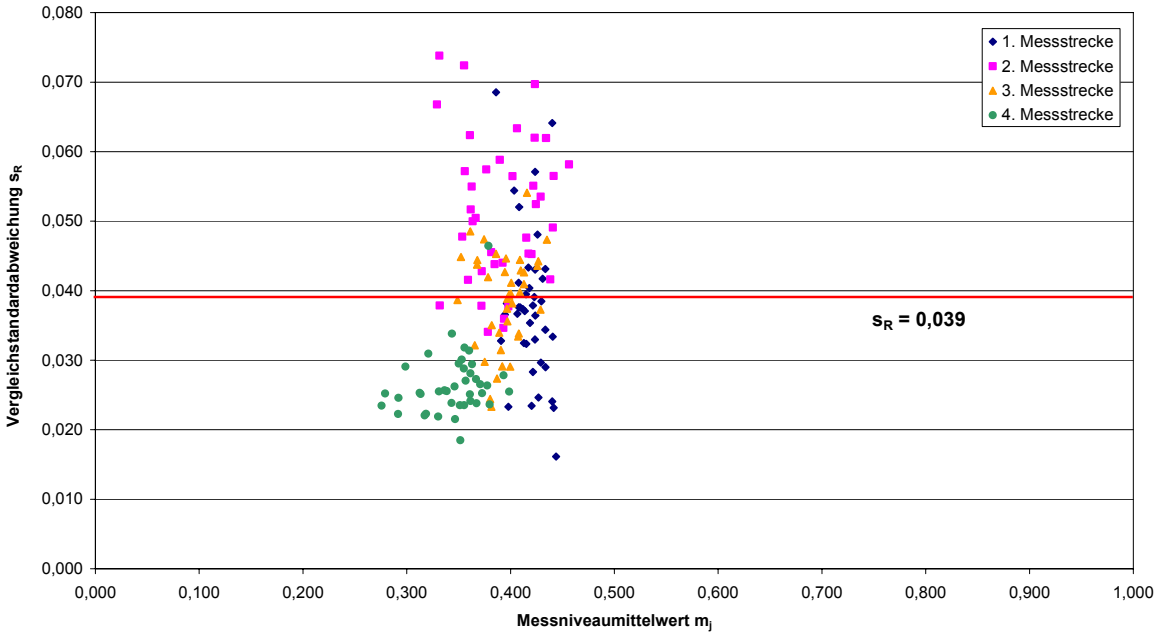
Ringversuch 2003, 4. Messstrecke mit Videosystem



Funktionale Beziehung m_j und s_r Ringversuch 2003 mit Videosystem

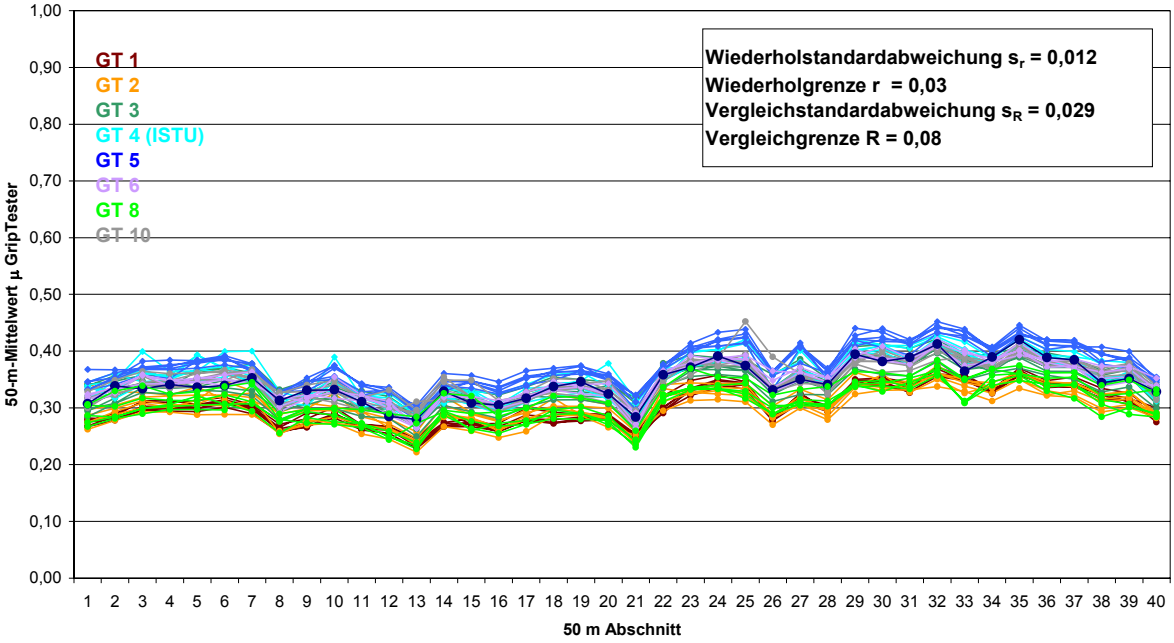


Funktionale Beziehung m_j und s_R Ringversuch 2003 mit Videosystem

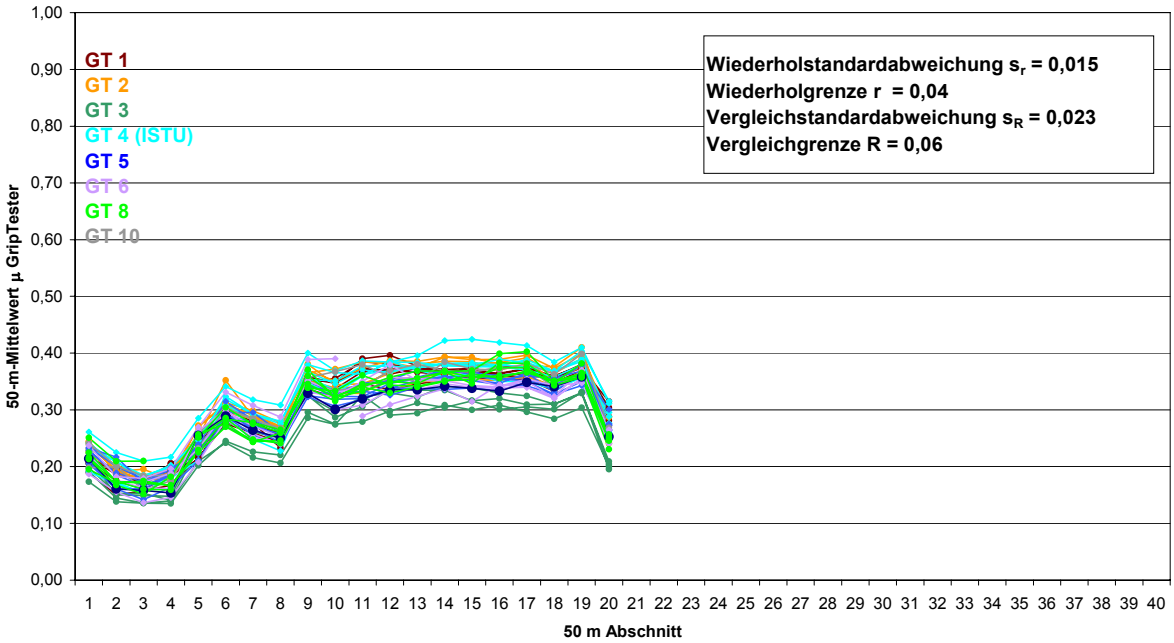


Ringversuch 2004 – Messungen mit Spurführungssystem

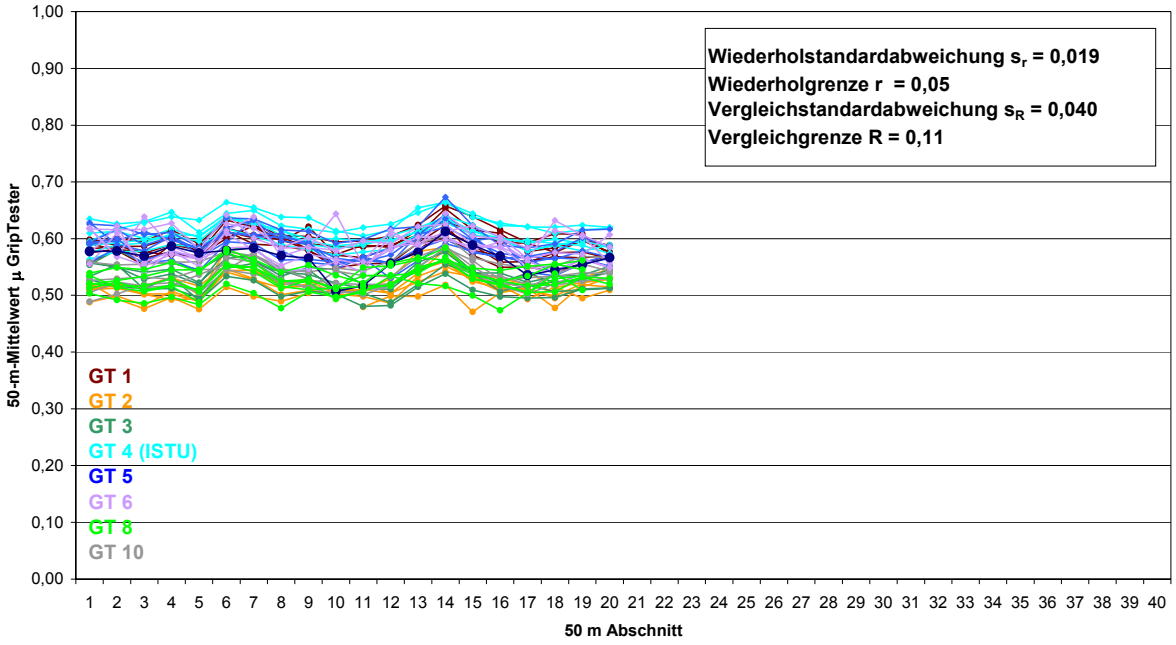
Ringversuch 2004, 1. Messstrecke mit SFS



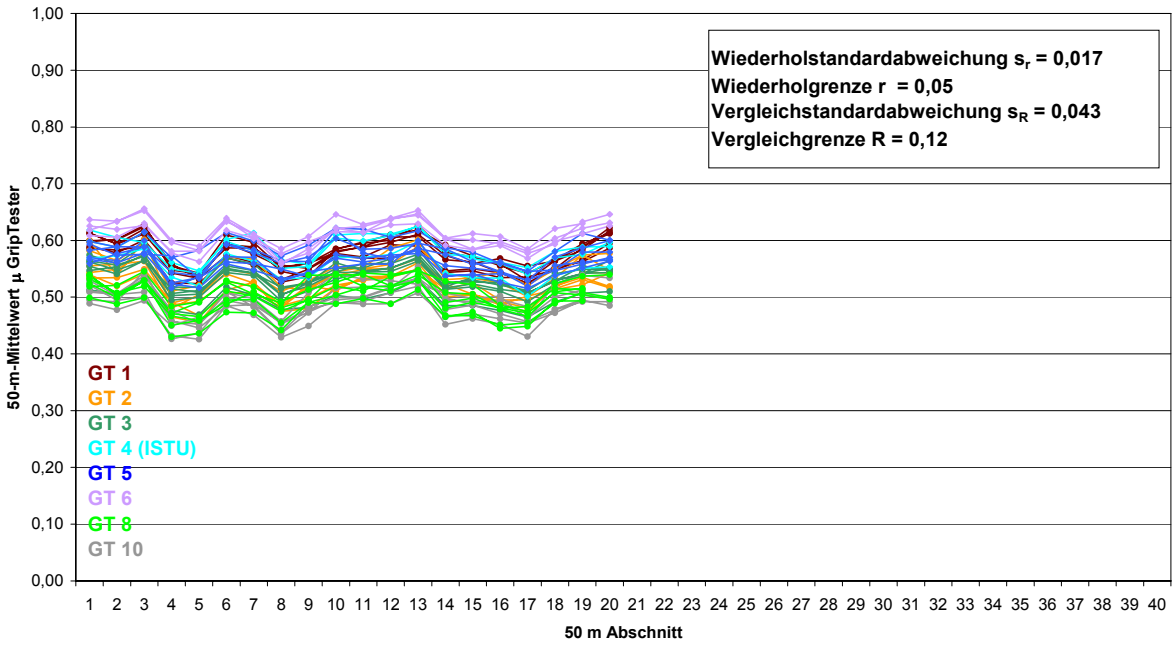
Ringversuch 2004, 2. Messstrecke mit SFS



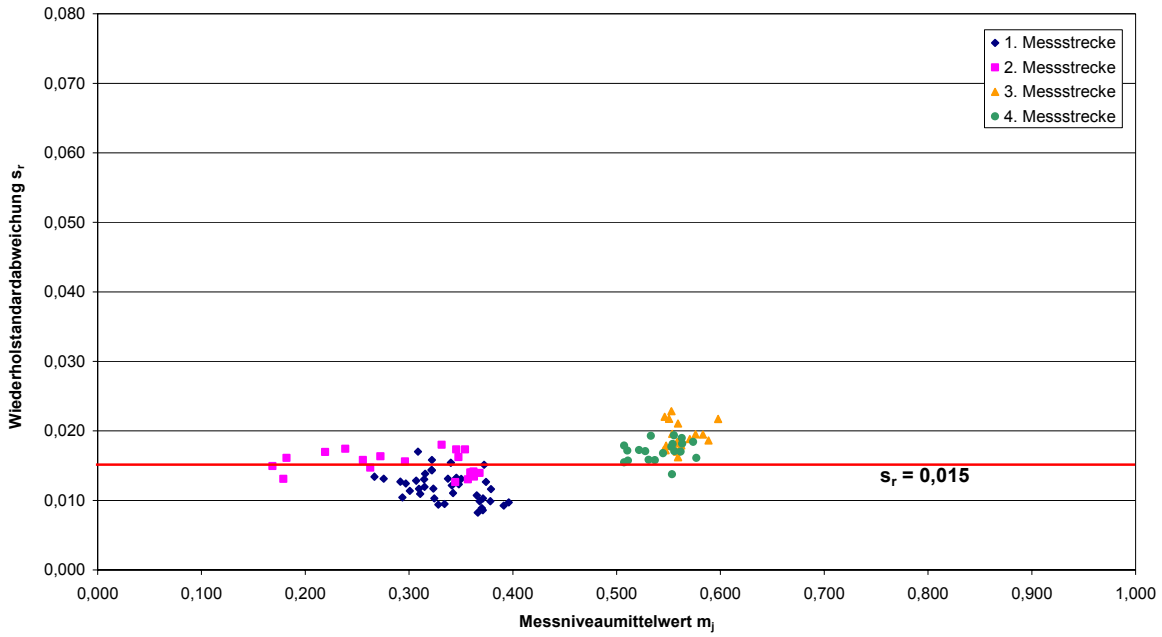
Ringversuch 2004, 3. Messstrecke mit SFS



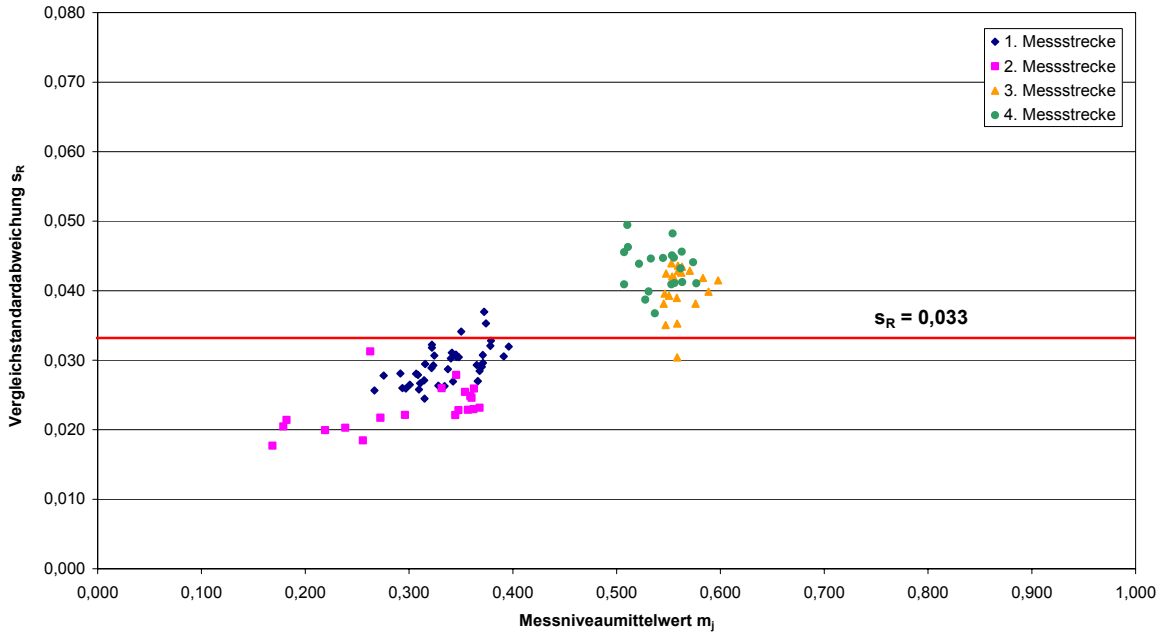
Ringversuch 2004, 4. Messstrecke mit SFS



Funktionale Beziehung m_j und s_r Ringversuch 2004 mit SFS

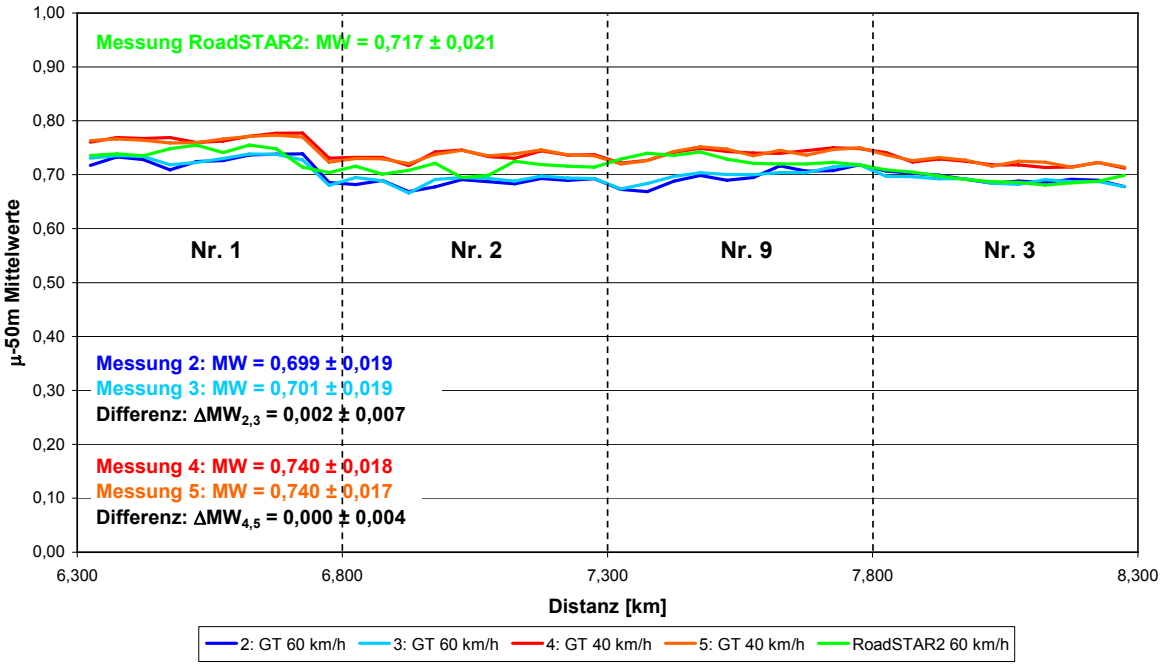


Funktionale Beziehung m_j und s_R Ringversuch 2004 mit SFS

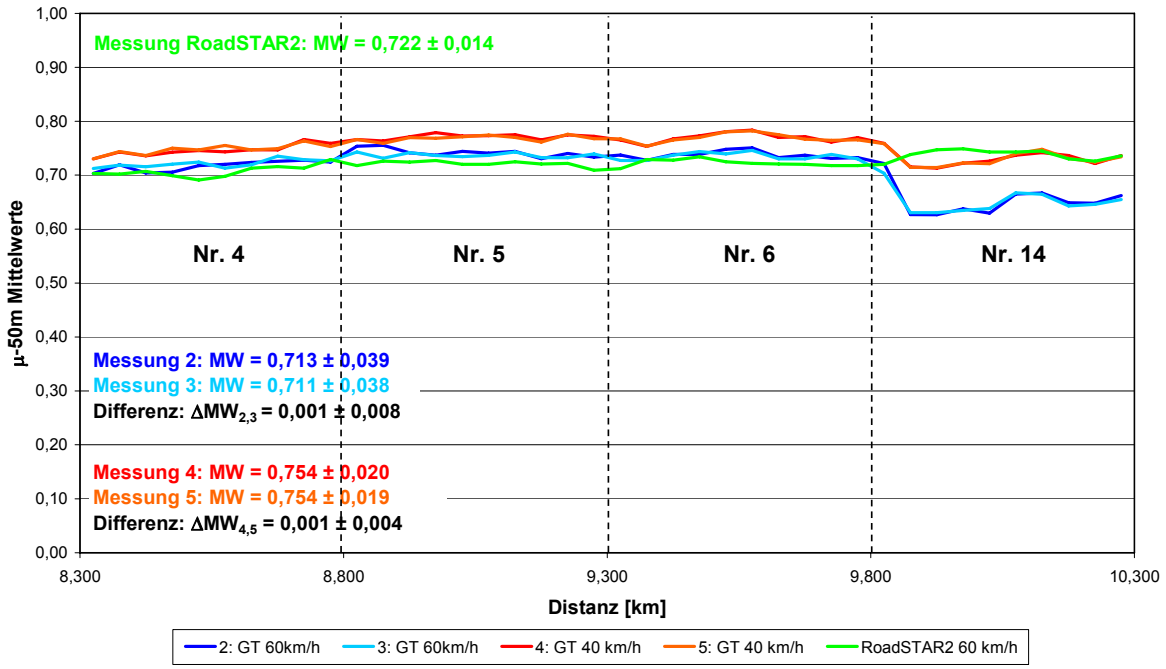


Anhang B: GripTester und RoadSTAR Messungen auf dem österreichischen Straßennetz (2005 – 2007)

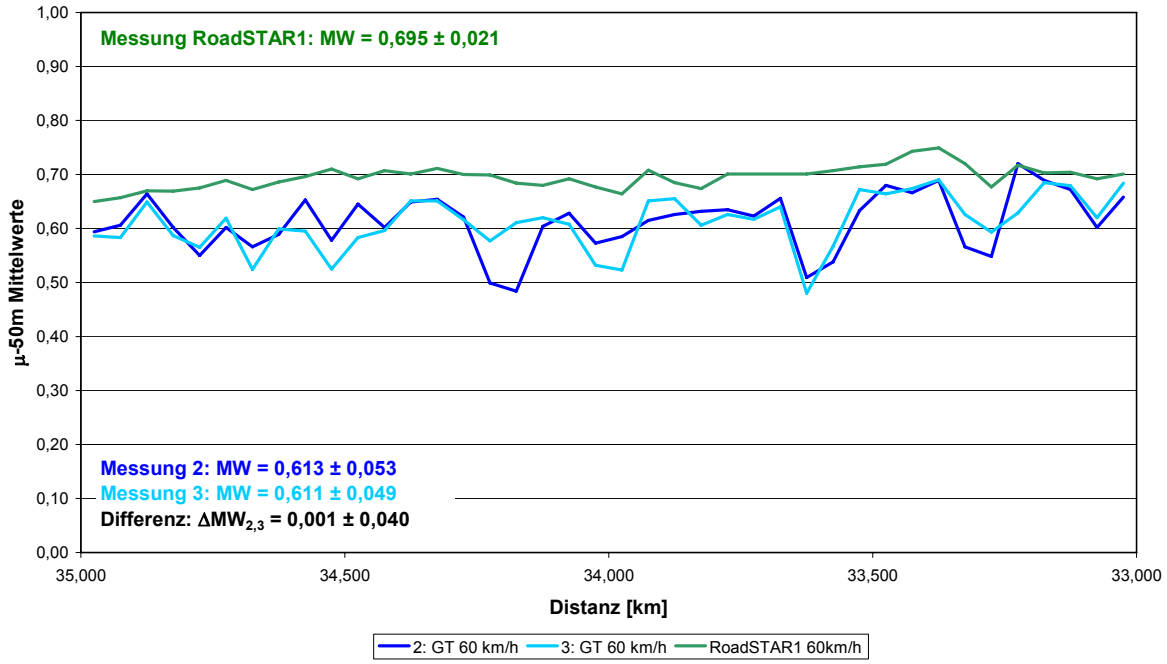
Messstrecke Nr. 1, 2, 3, 9 (km 6,300 bis 8,300), 20.09.2006



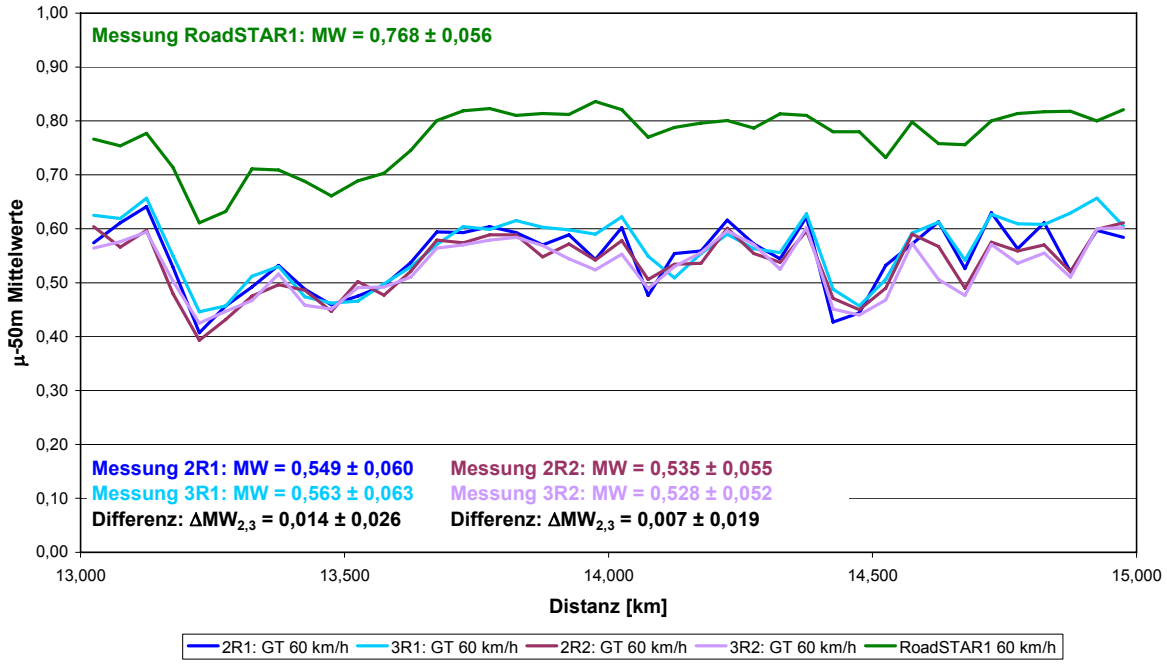
Messstrecken Nr. 4, 5, 6, 14 (km 8,300 bis 10,300), 20.09.2006



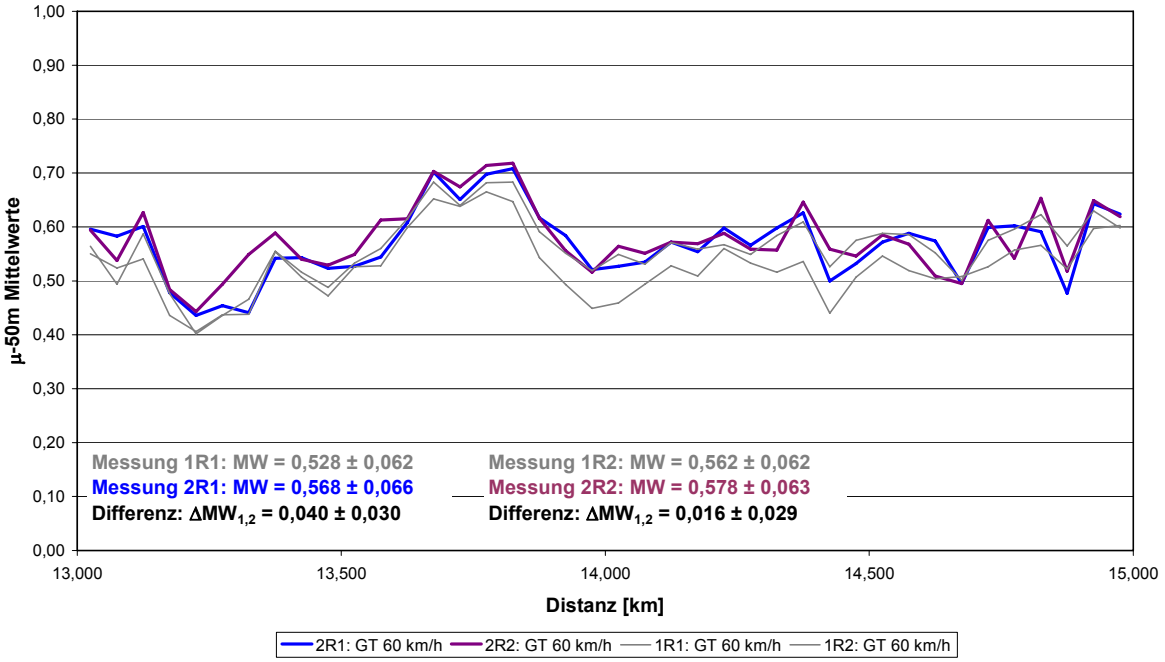
Messstrecke Nr. 7 (km 35,000 bis 33,000), 14.09.2006



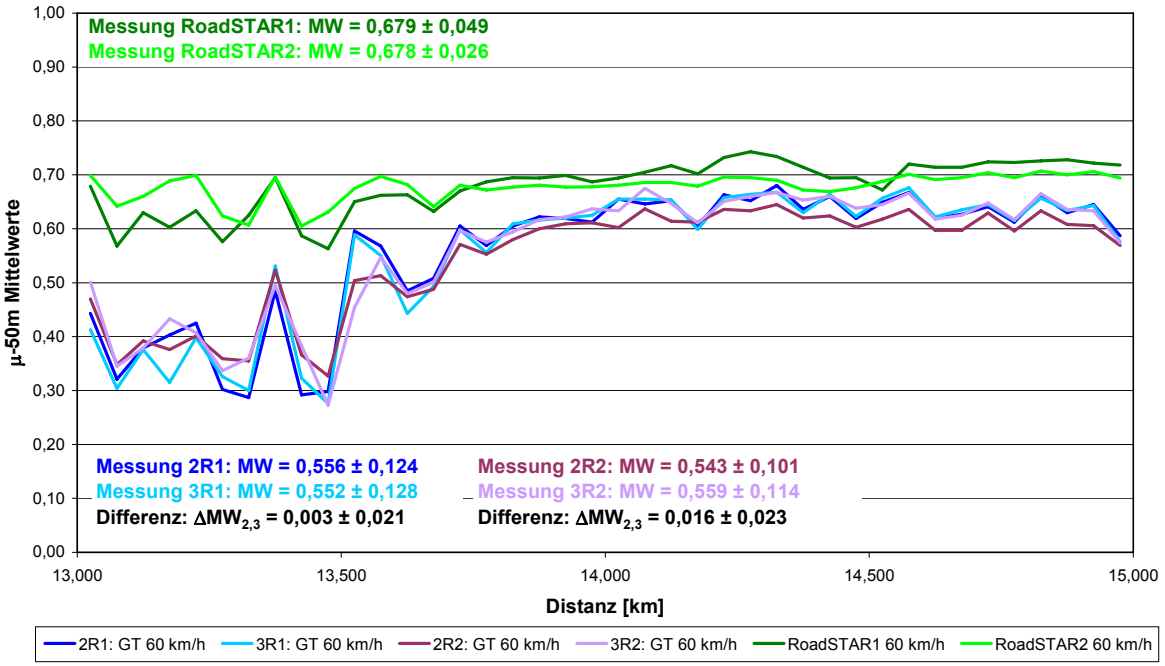
Messstrecke Nr. 8a (km 13,000 bis 15,000), 14.10.2005



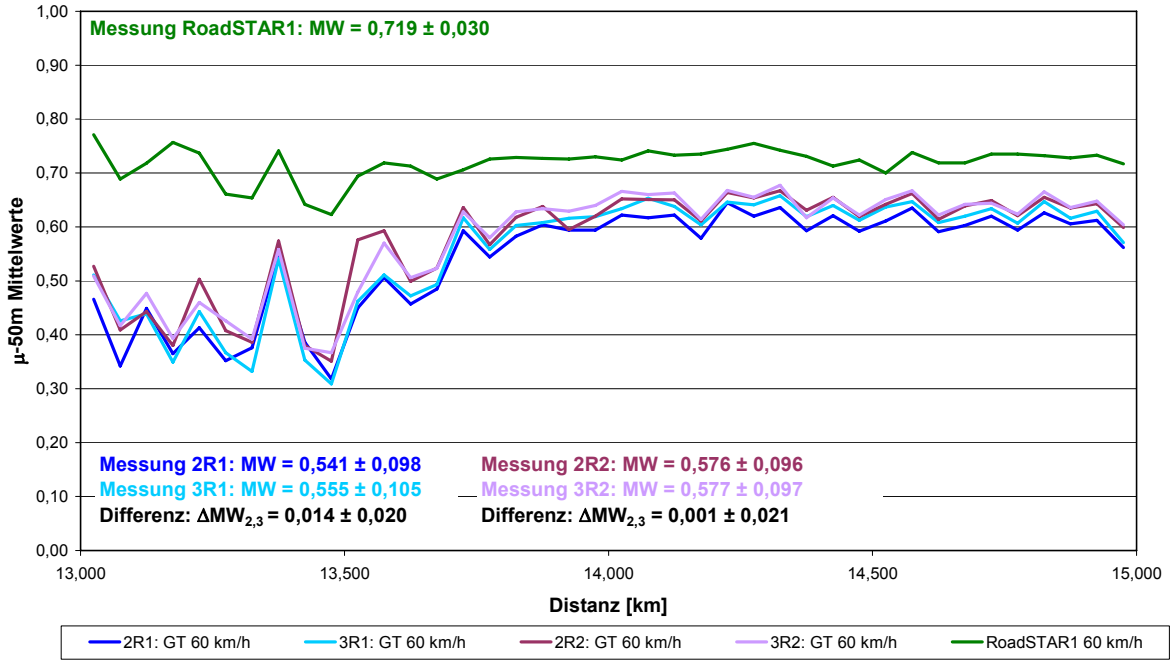
Messstrecke Nr. 8b (km 13,000 bis 15,000), 13.06.2006



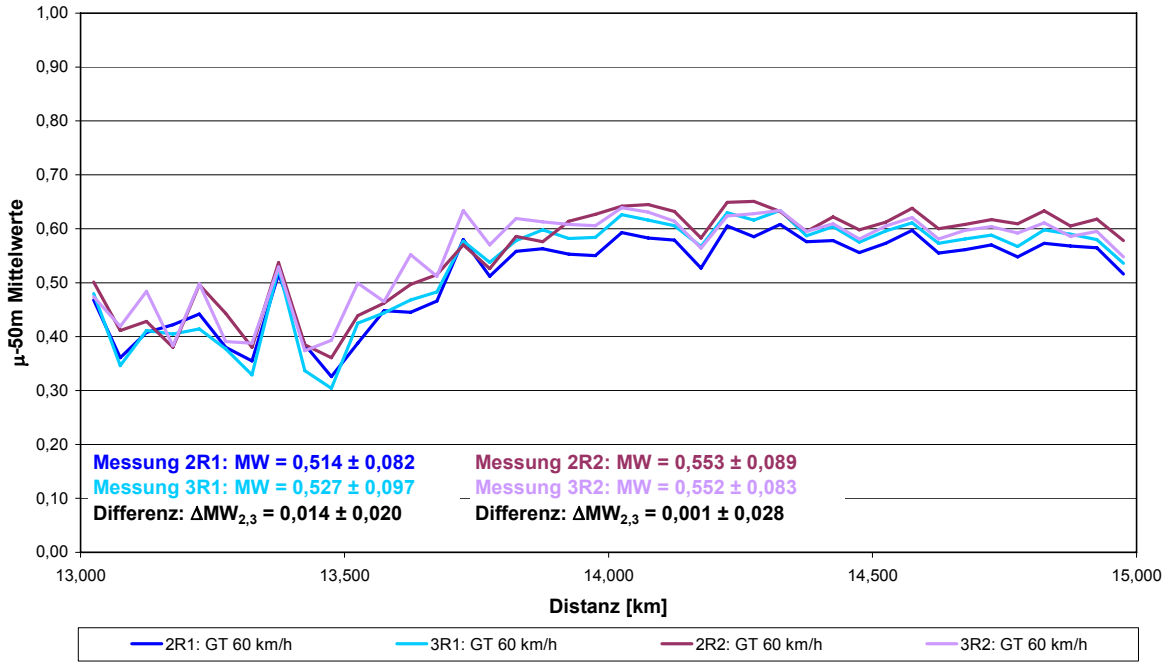
Messstrecke Nr. 10a (km 13,000 bis 15,000), 24.08.2006



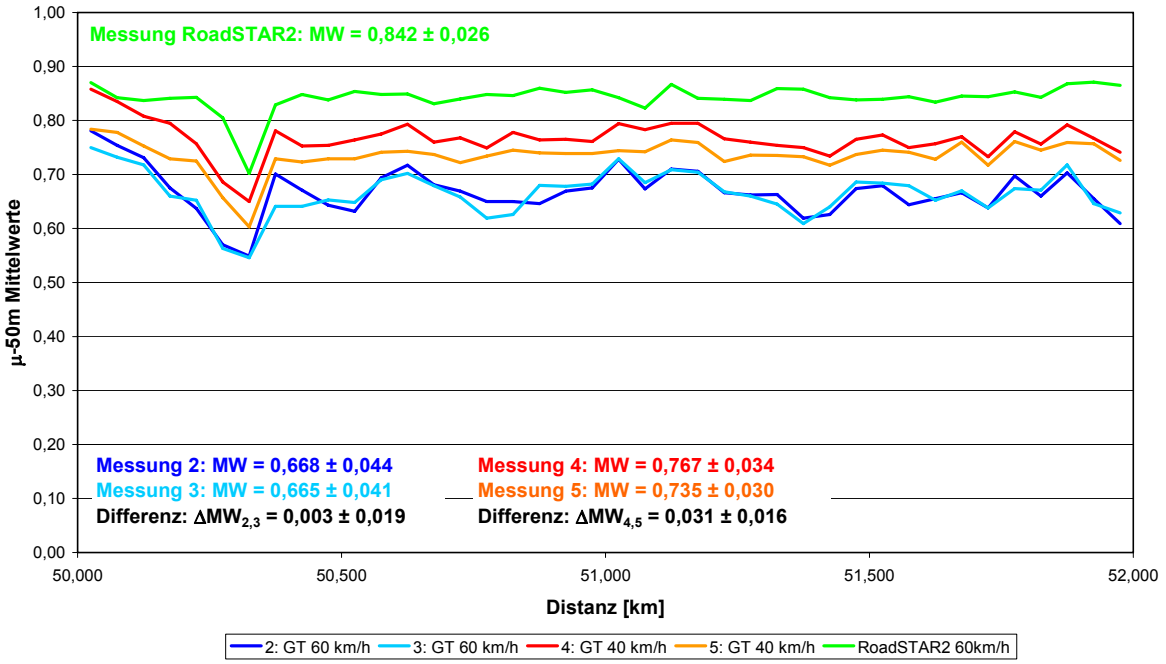
Messstrecke 10b (km 13,000 bis 15,000), 15.11.2006



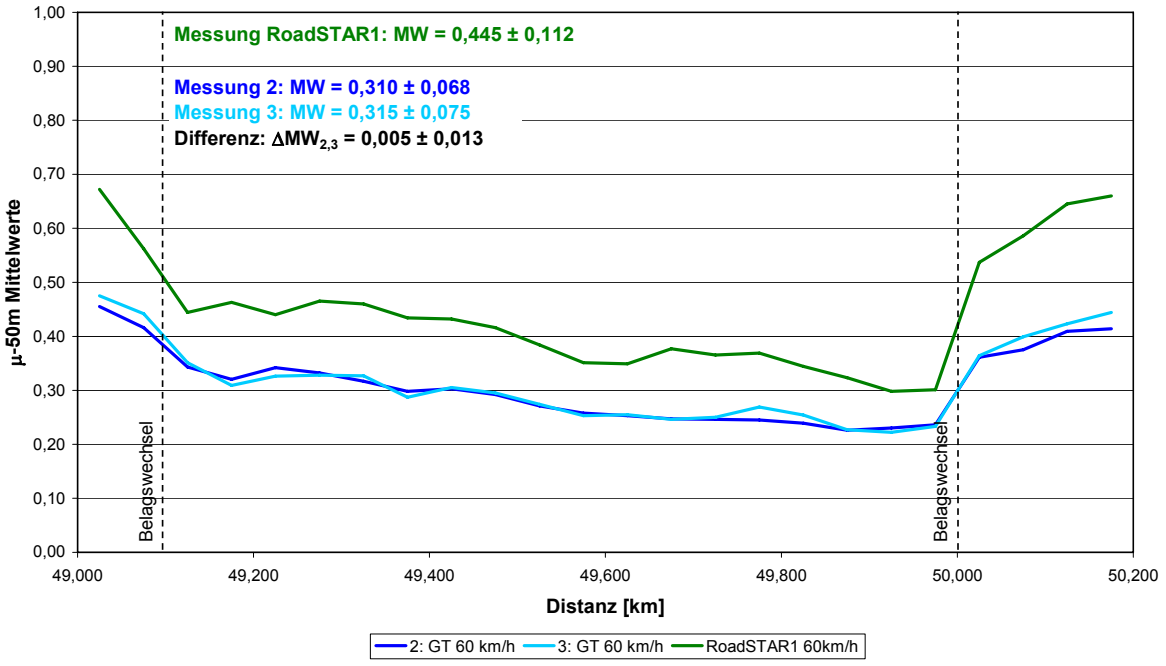
Messstrecke Nr. 10c (km 13,000 bis 15,000), 03.09.2007



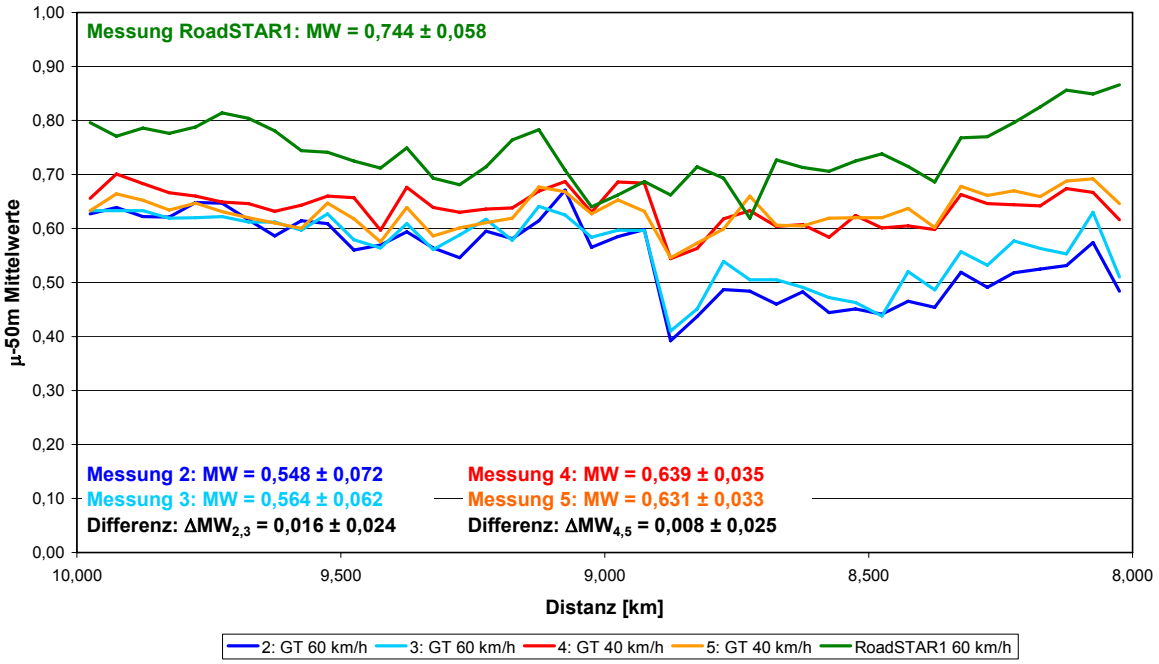
Messstrecke Nr.11 (km 50,000 bis 52,000), 09.10.2006



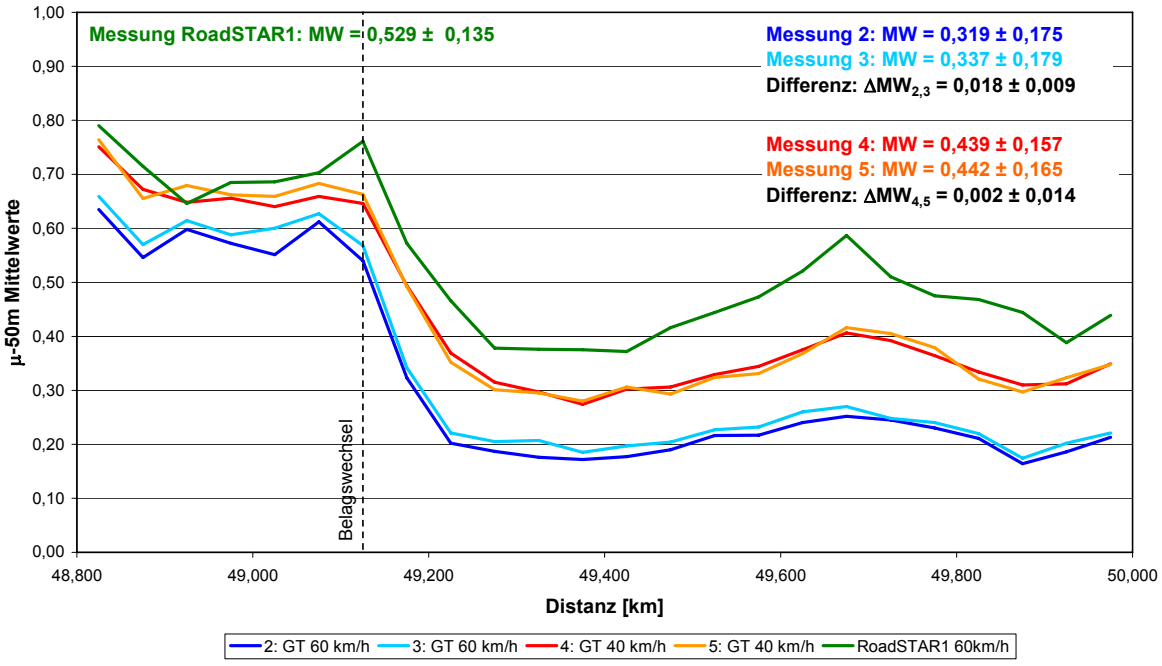
Messstrecke Nr. 12 (km 49,000 bis 50,200), 27.07.2007



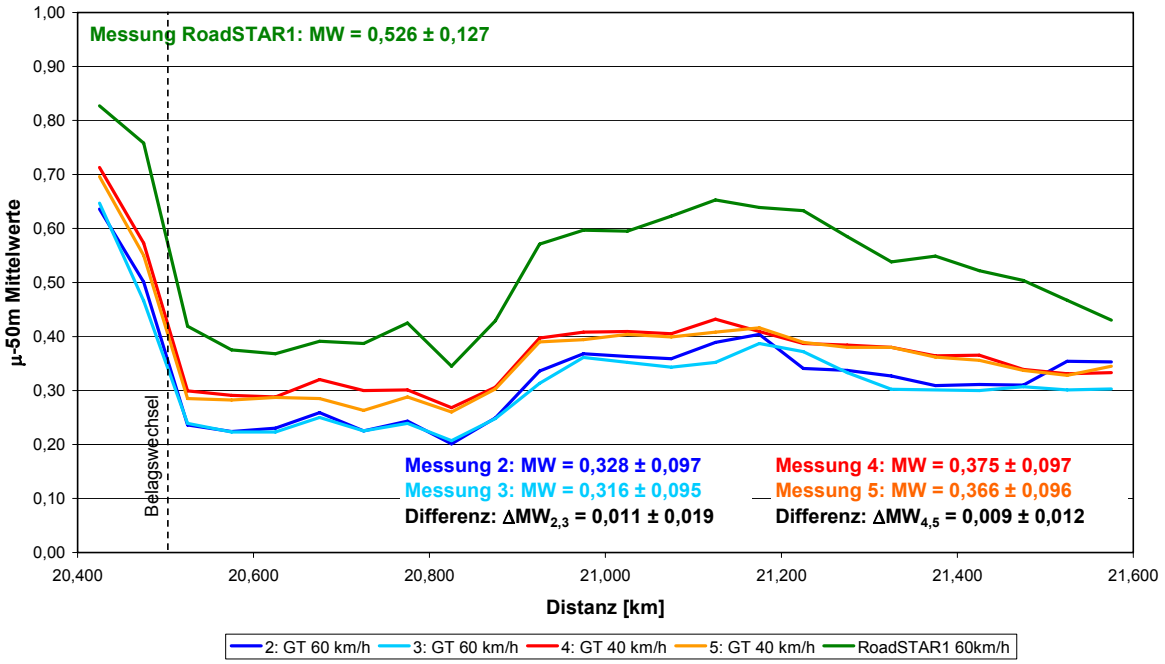
Messstrecke Nr. 13 (km 10,000 bis 8,000), 09.08.2005



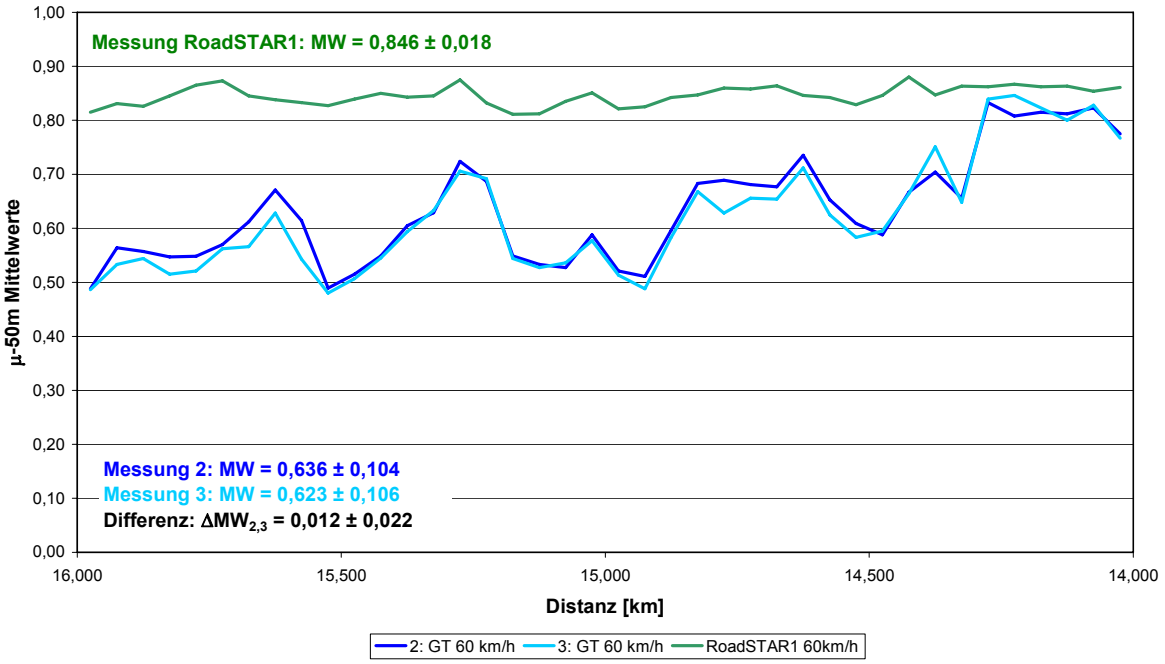
Messstrecke Nr. 15 (km 48,800 bis 50,000), 13.07.2007



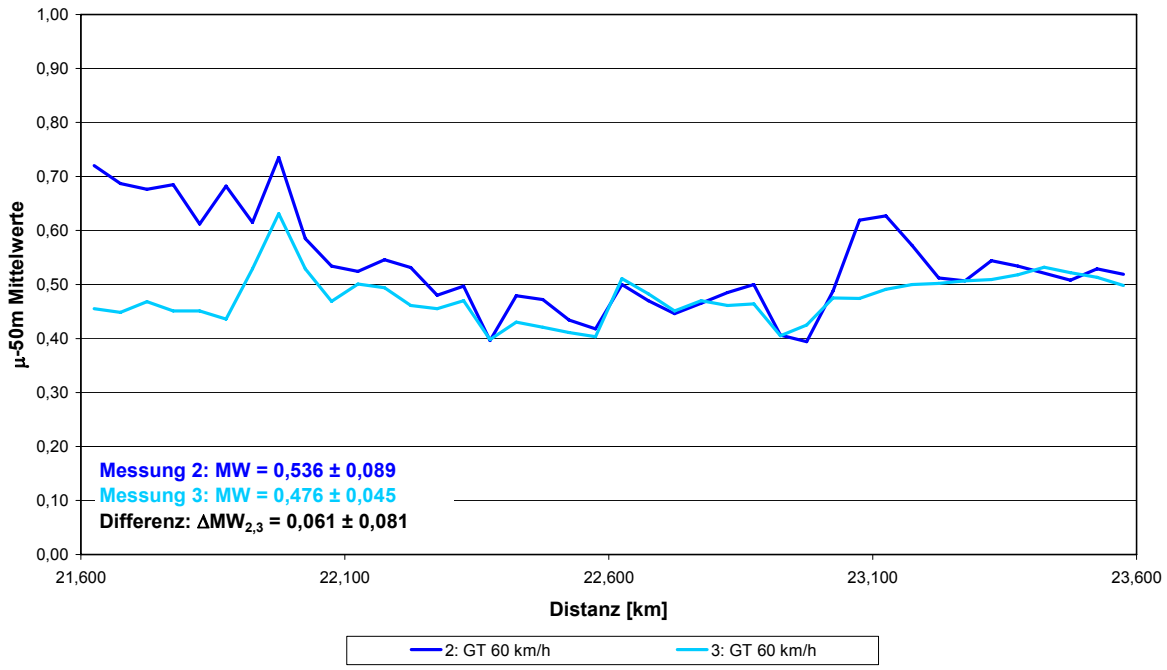
Messstrecke Nr. 16 (km 20,400 bis 21,600), 13.07.2007



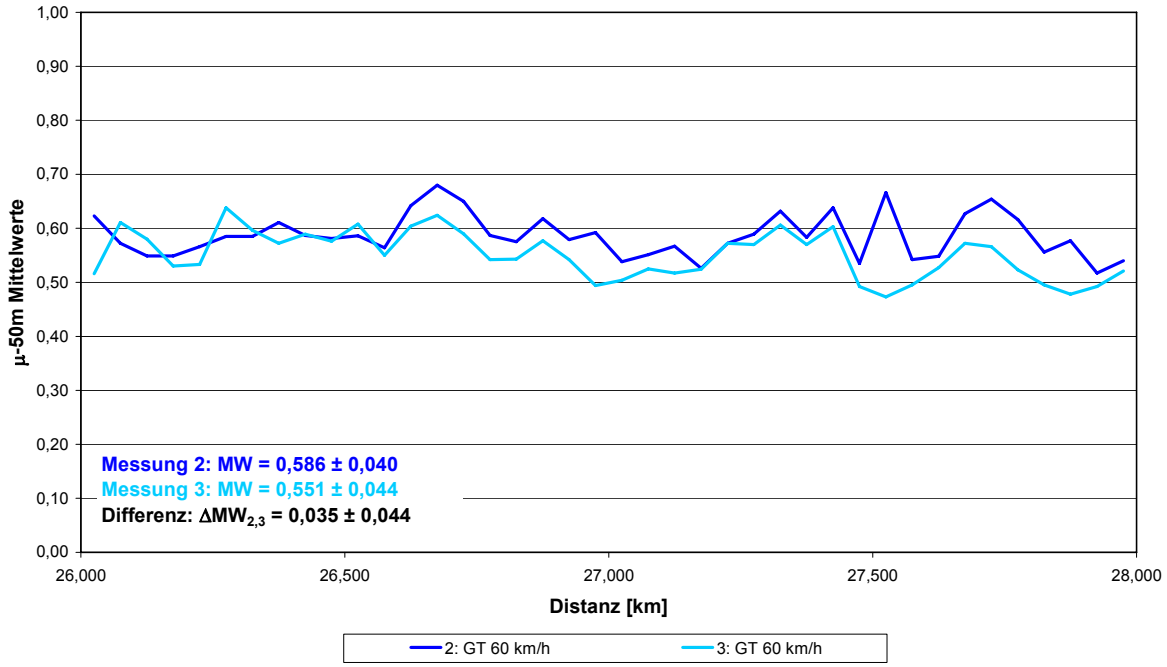
Messstrecke Nr. 17 (km 16,000 bis 14,000), 21.09.2006



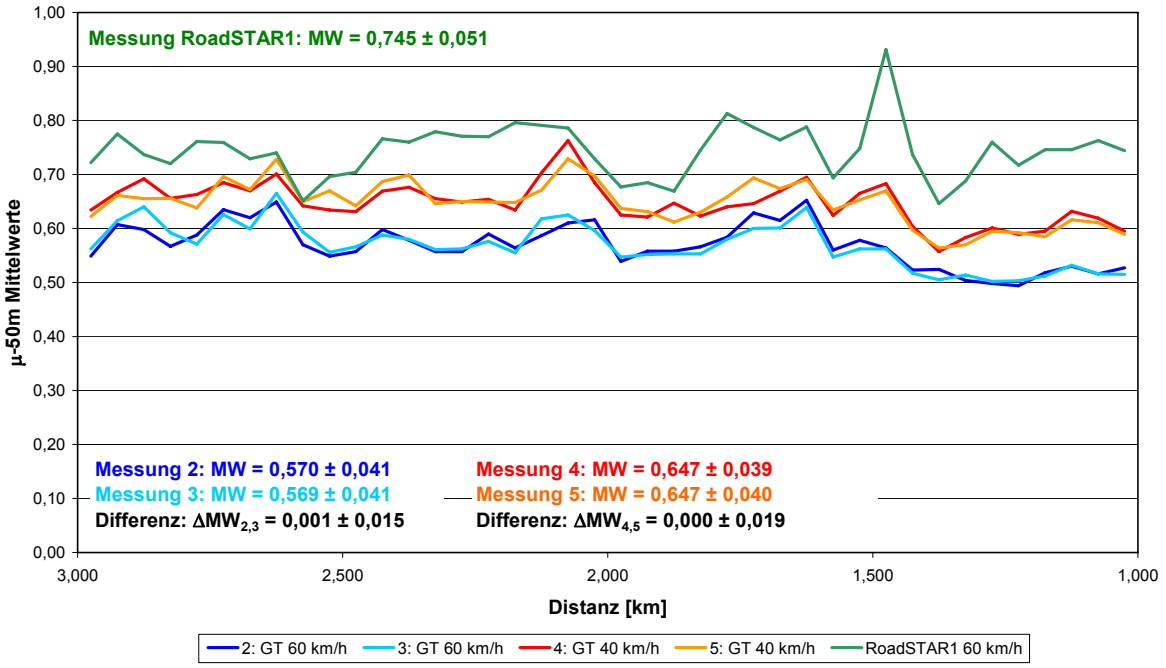
Messstrecke Nr. 18 (km 21,600 bis 23,600), 20.09.2006



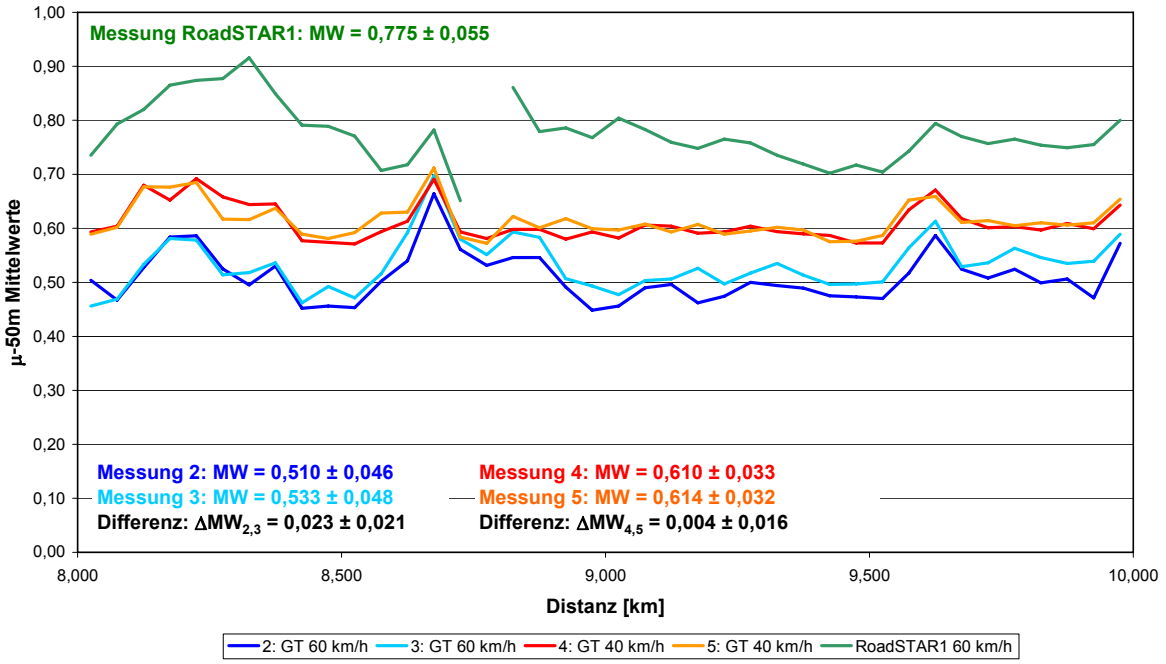
Messstrecke Nr. 19 (km 26,000 bis 28,000), 20.09.2006



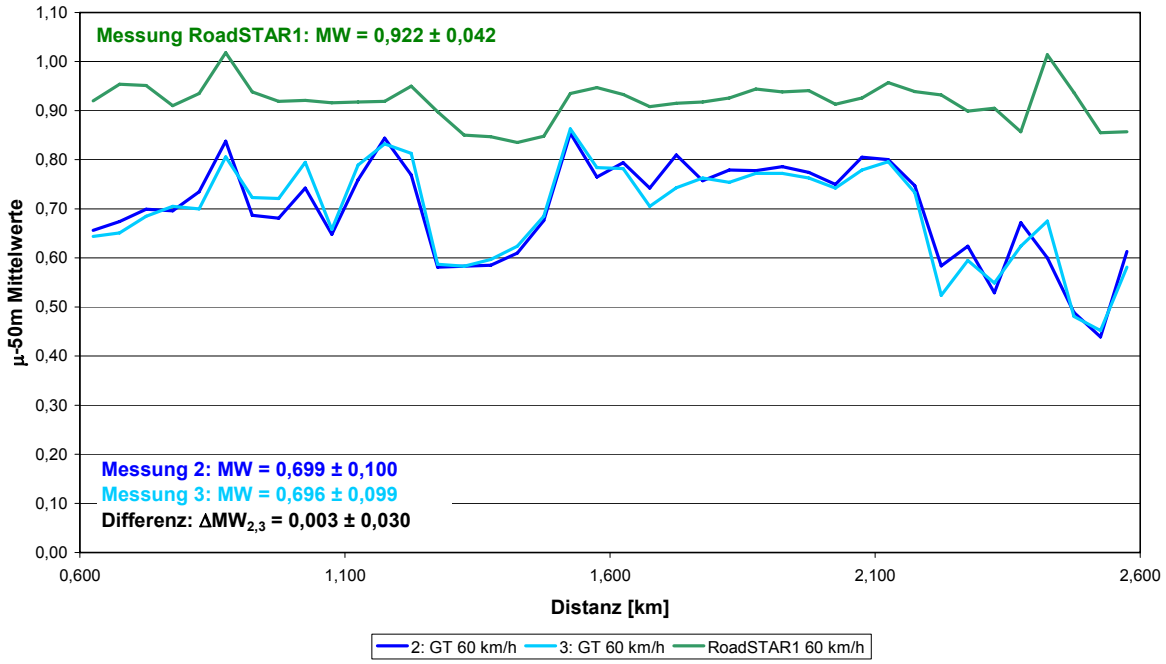
Messstrecke Nr. 20 (km 3,000 bis 1,000), 09.08.2005



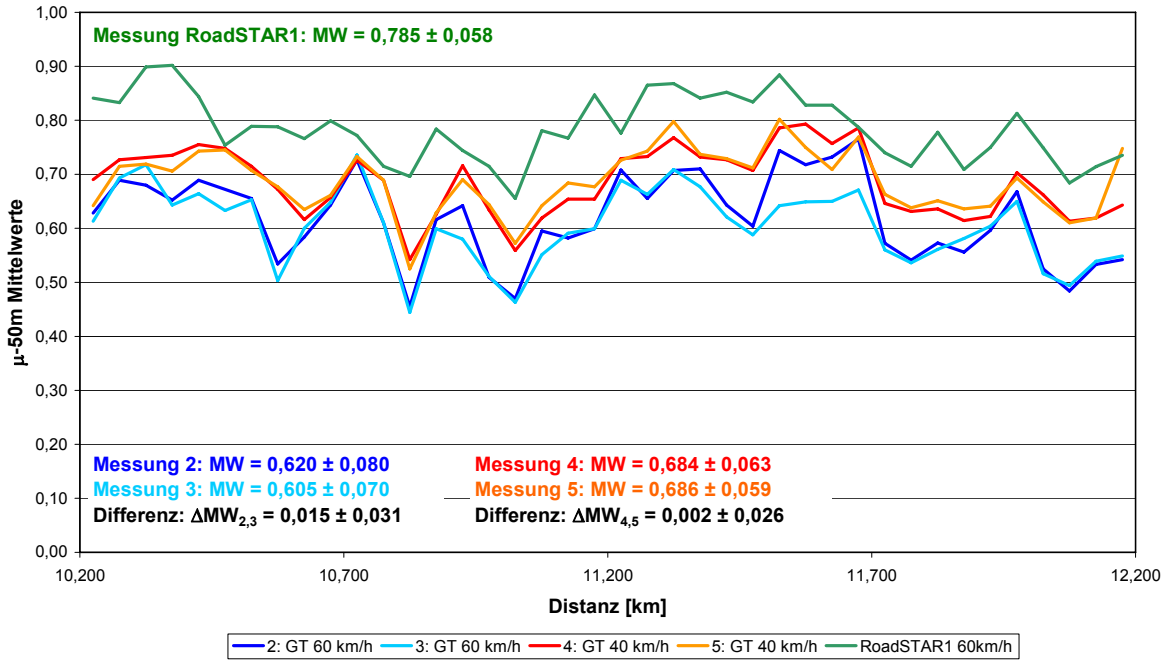
Messstrecke Nr. 21 (km 8,000 bis 10,000), 10.08.2005



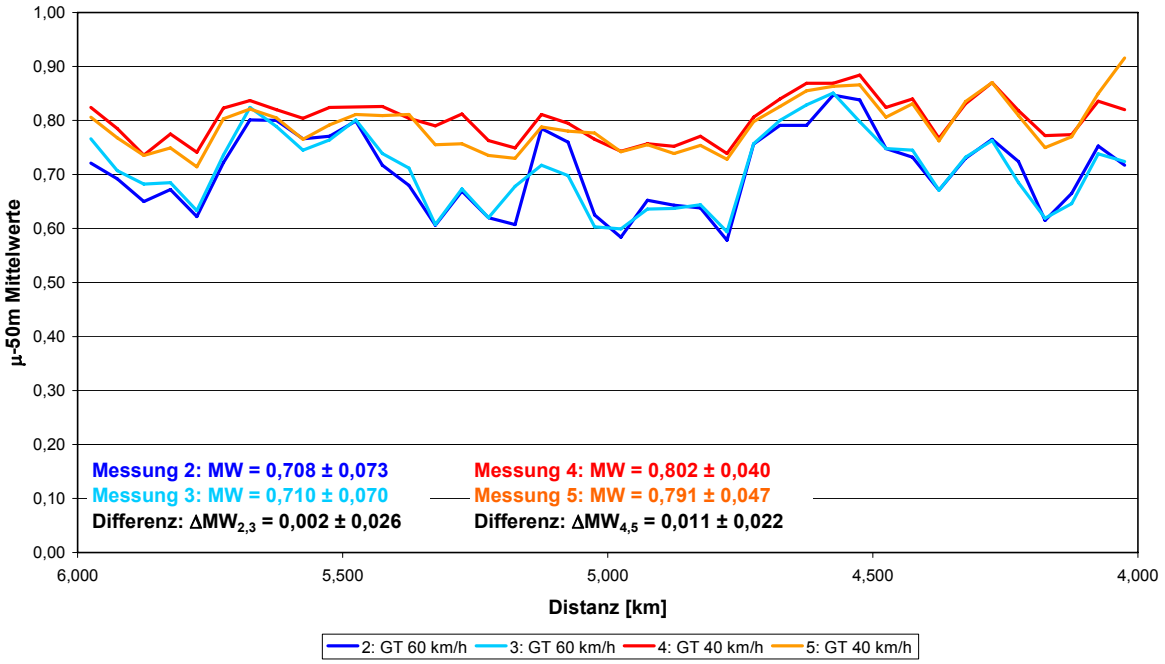
Messstrecke Nr. 22 (km 0,600 bis 2,600), 26.07.2005



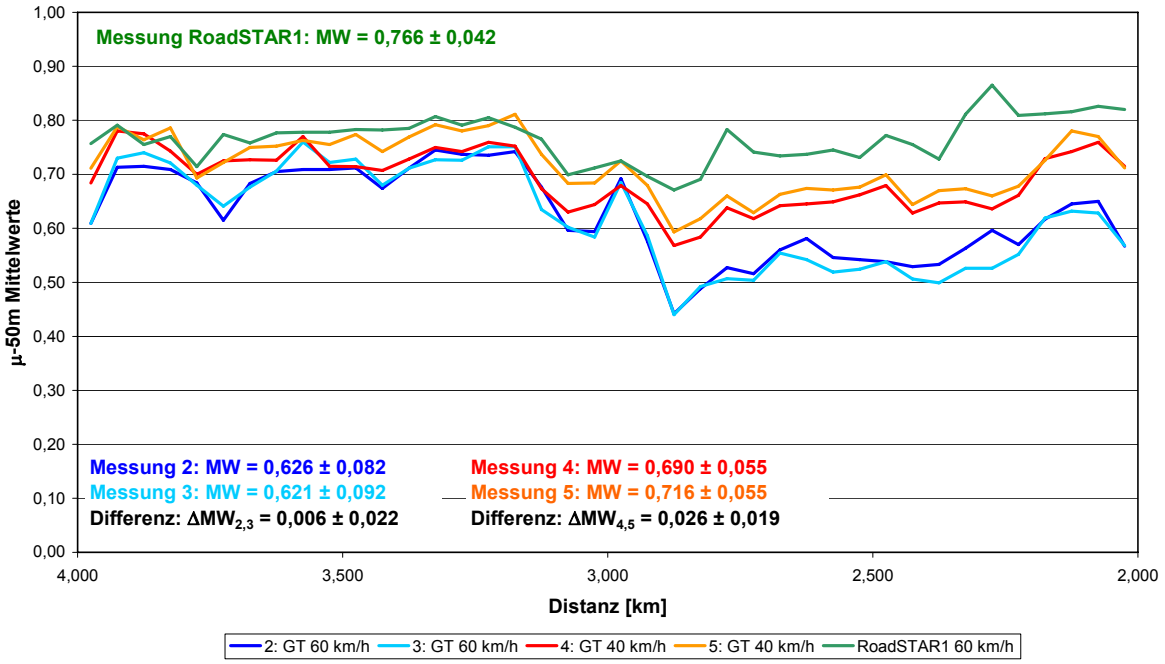
Messstrecke Nr. 23 (km 10,200 bis 12,200), 05.08.2005



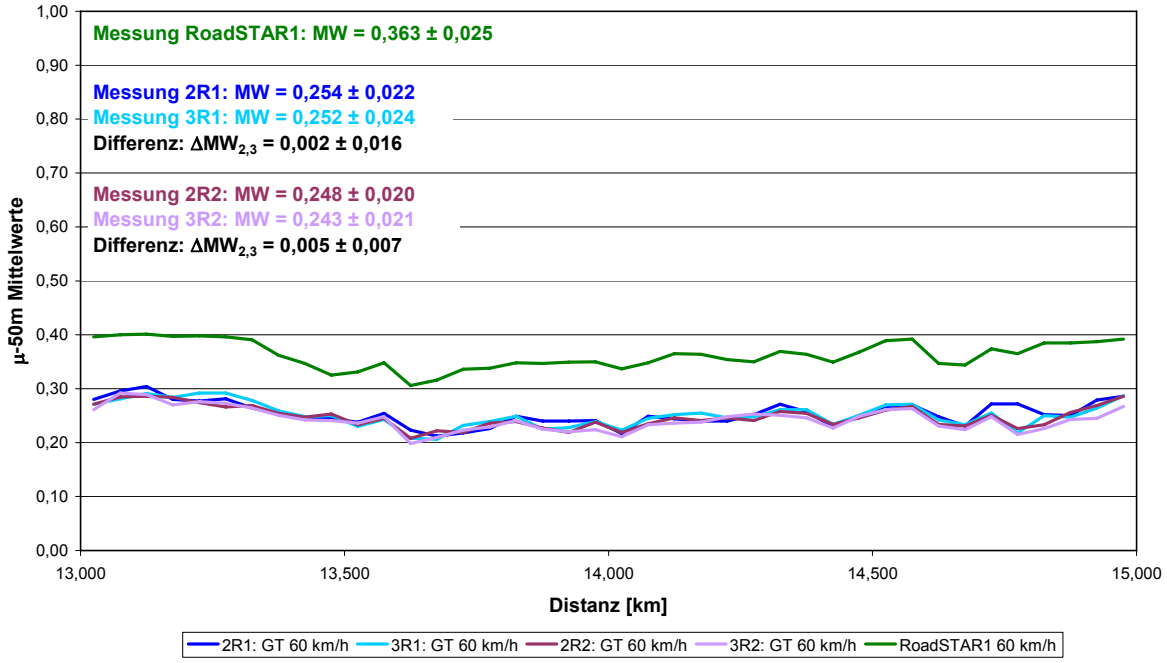
Messstrecke Nr. 24 (km 6,000 bis 4,000), 27.07.2005



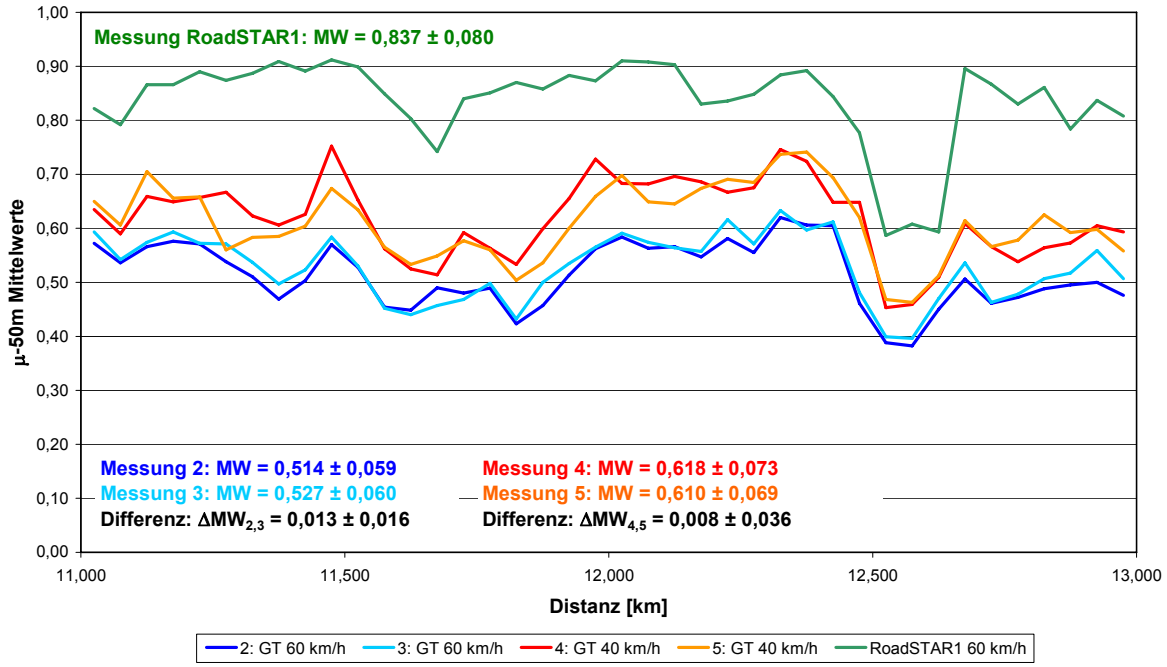
Messstrecke Nr. 25 (km 4,000 bis 2,000), 05.08.2005



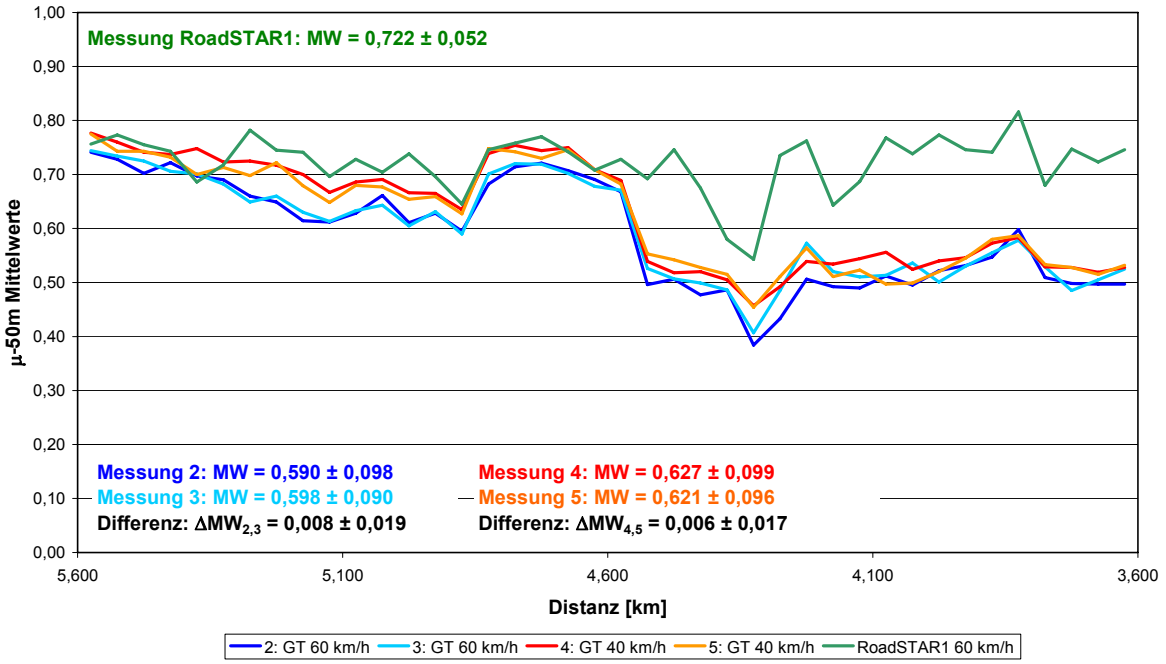
Messtrecke Nr. 26 (km 13,000 bis 15,000), 15.07.2005



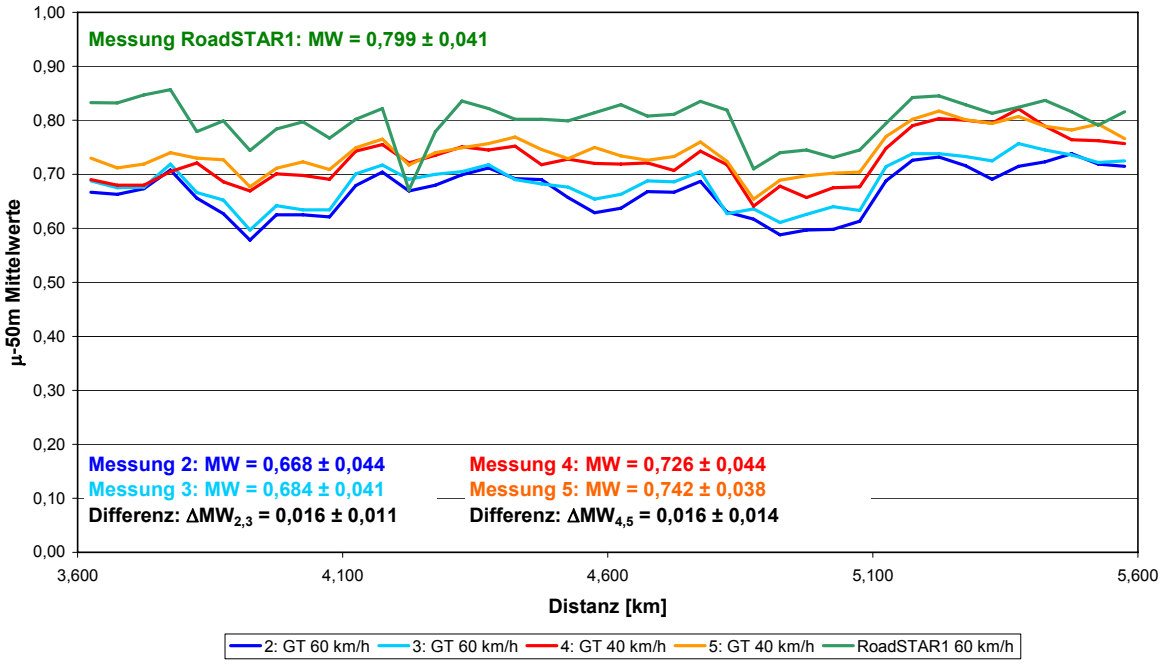
Messstrecke Nr. 27 km 11,00 bis 13,000, 09.08.2005



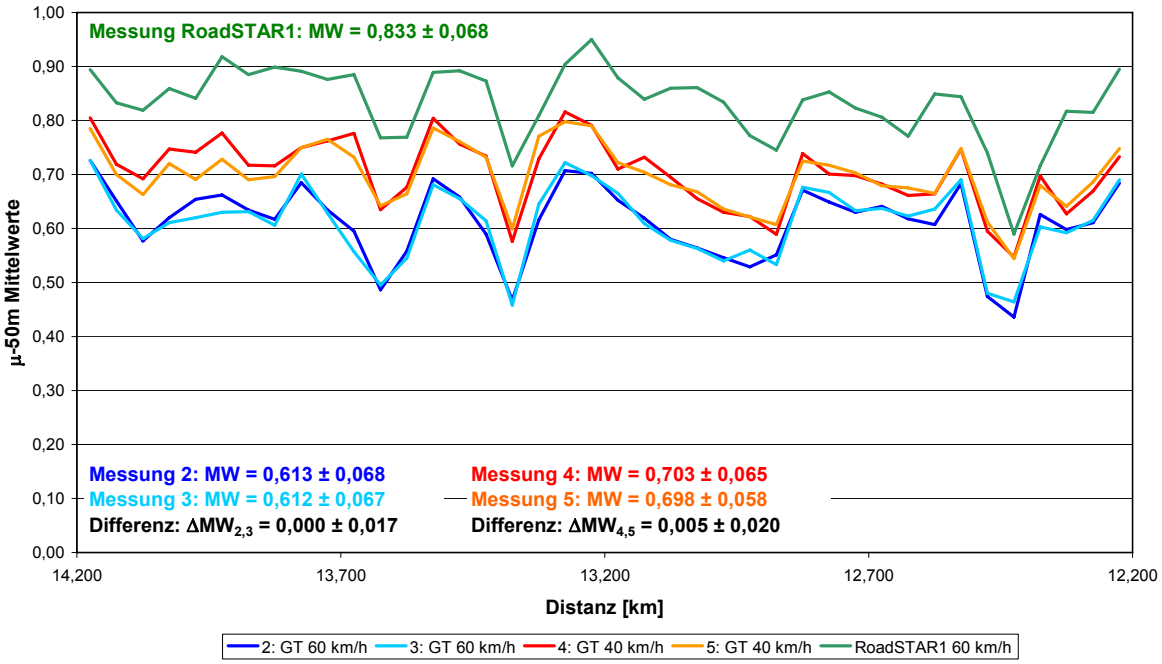
Messstrecke Nr. 28 (km 5,600 bis 3,600), 10.08.2005



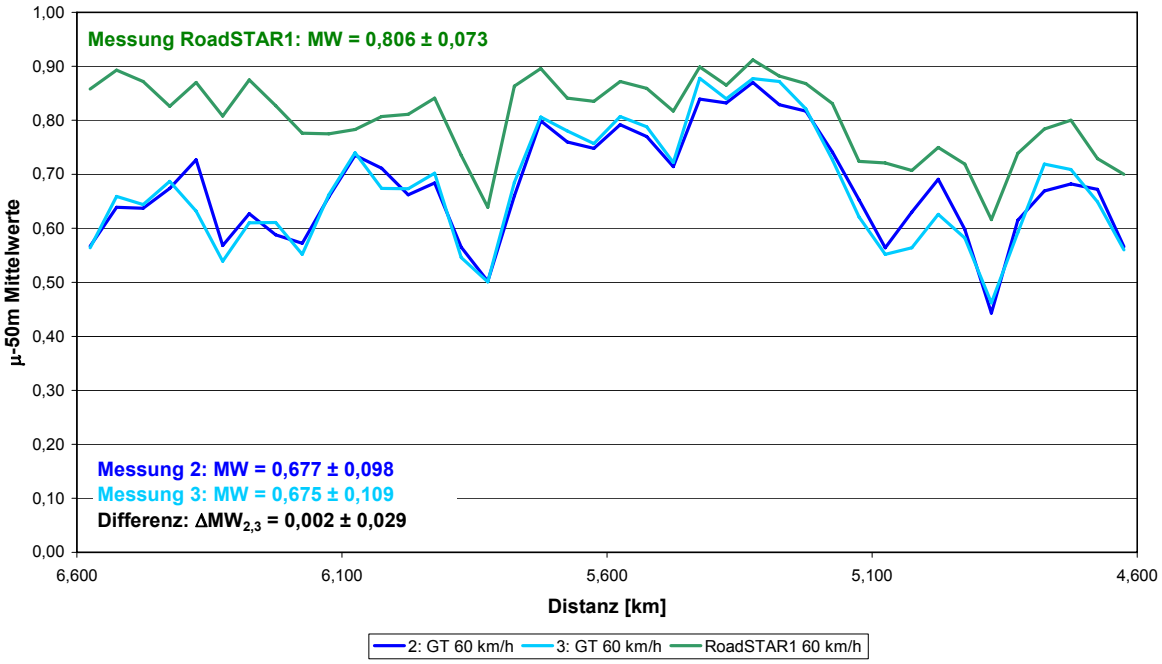
Messstrecke Nr. 29 (km 3,600 bis 5,600), 10.08.2005



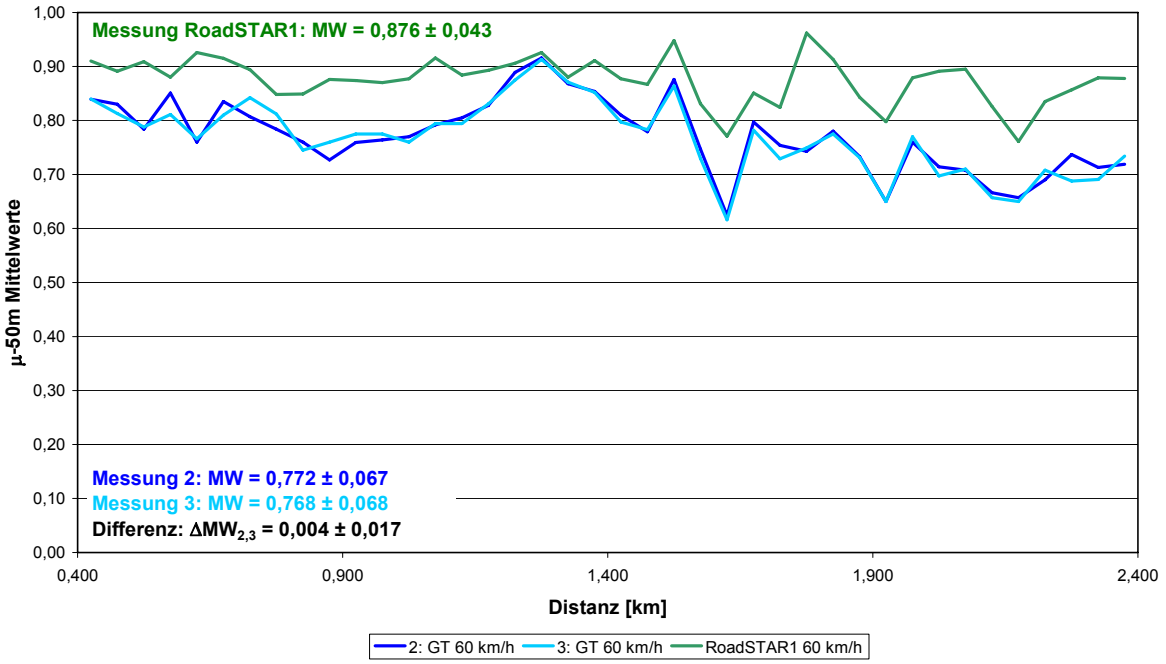
Messstrecke Nr. 30 (km 14,200 bis 12,200), 04.08.2005



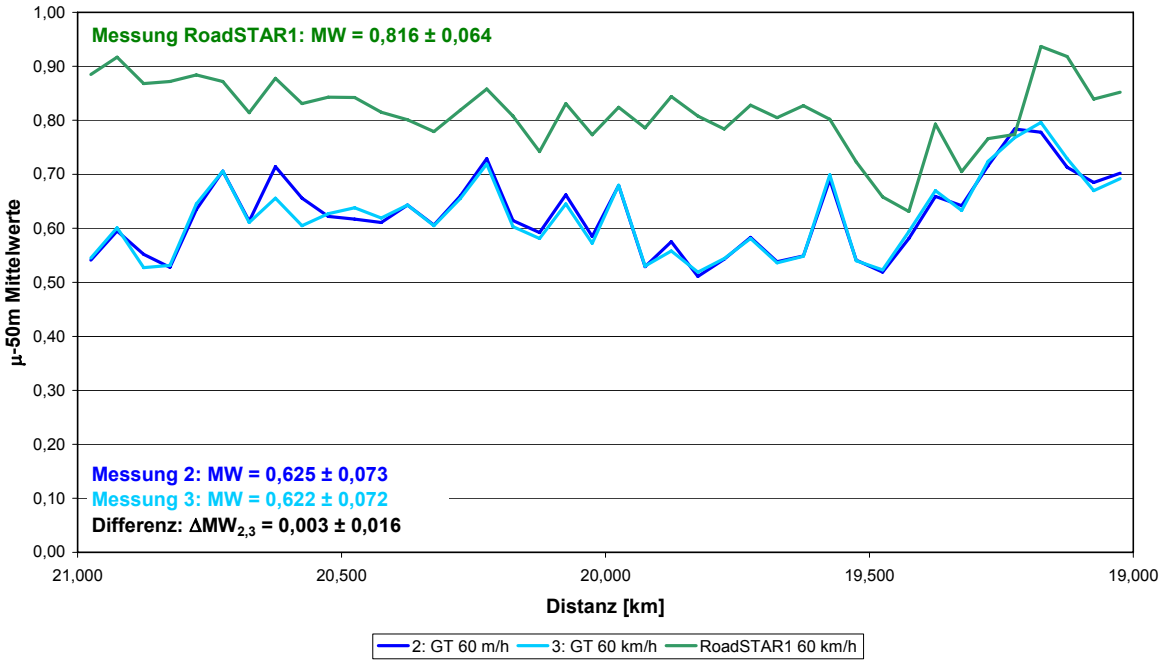
Messstrecke Nr. 31 km 6,600 bis 4,600, 28.07.2005



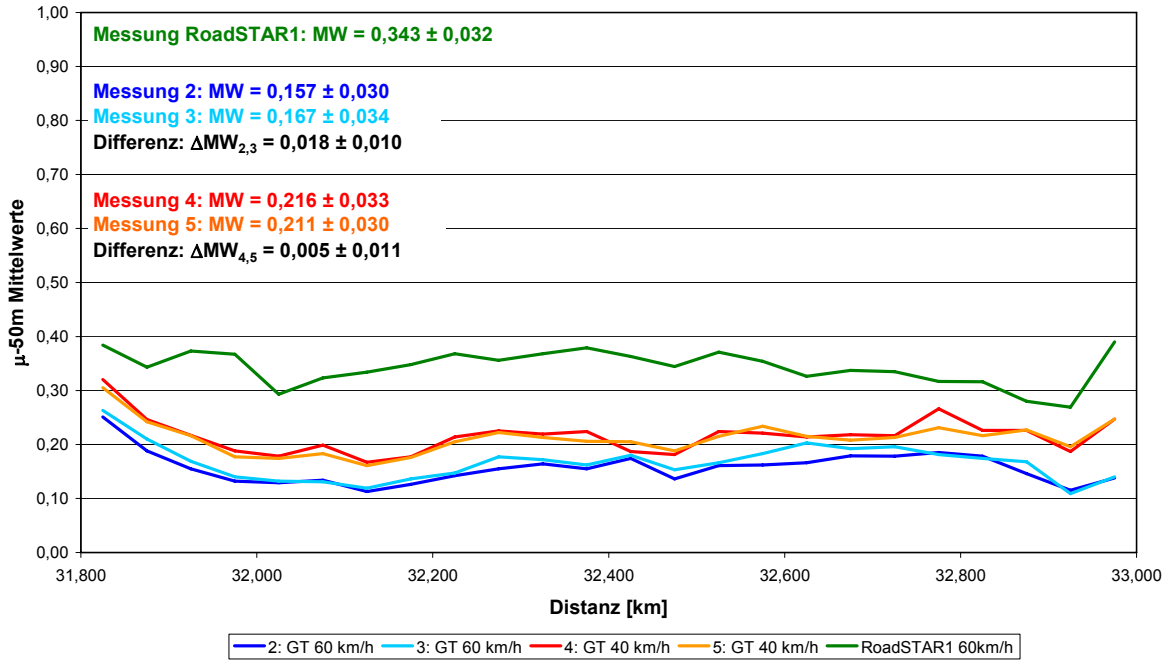
Messstrecke Nr. 32 (km 0,400 bis 2,400), 28.07.2005



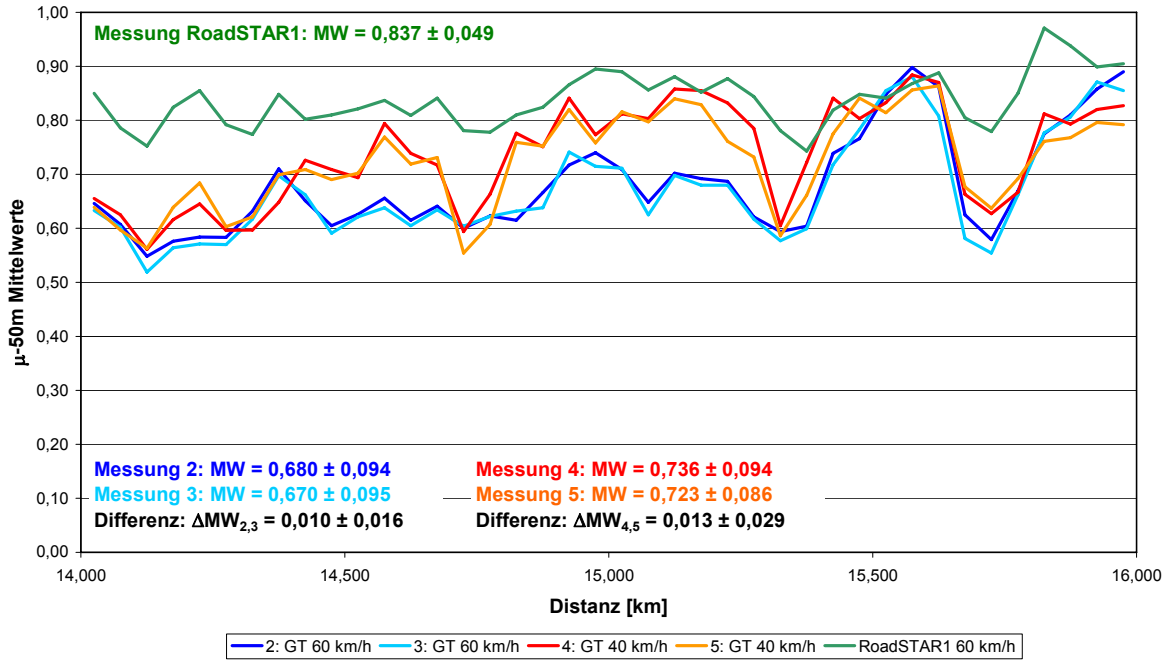
Messstrecke Nr. 33 (km 21,000 bis 19,000), 28.07.2005



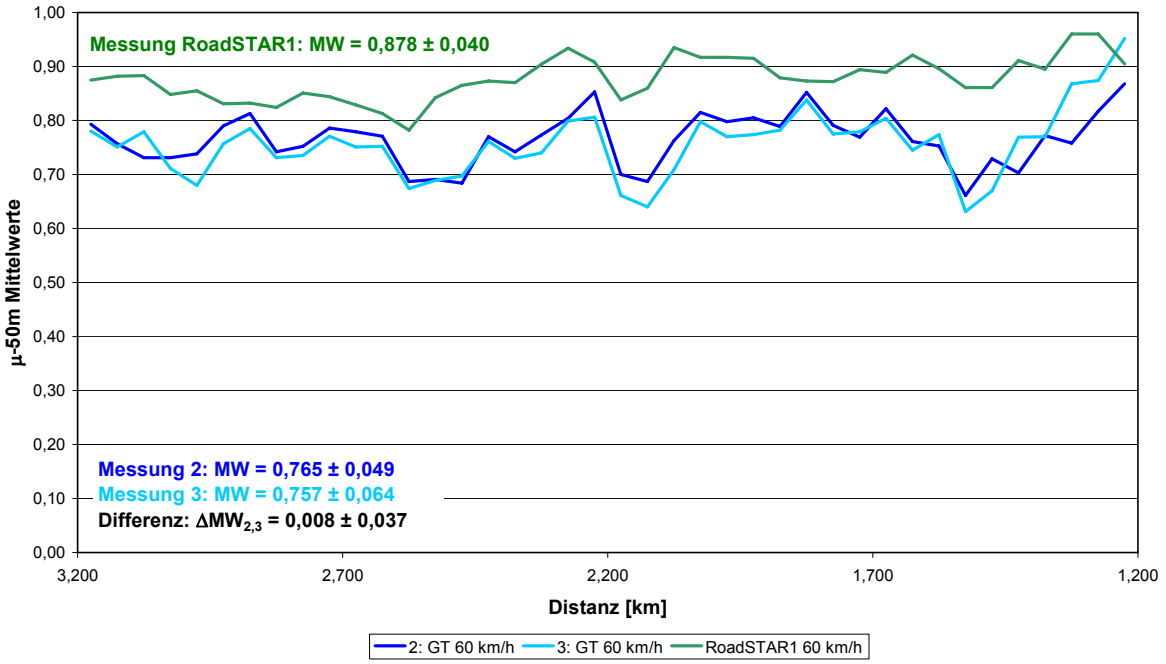
Messstrecke Nr. 34 (km 31,800 bis 33,000), 27.07.2007



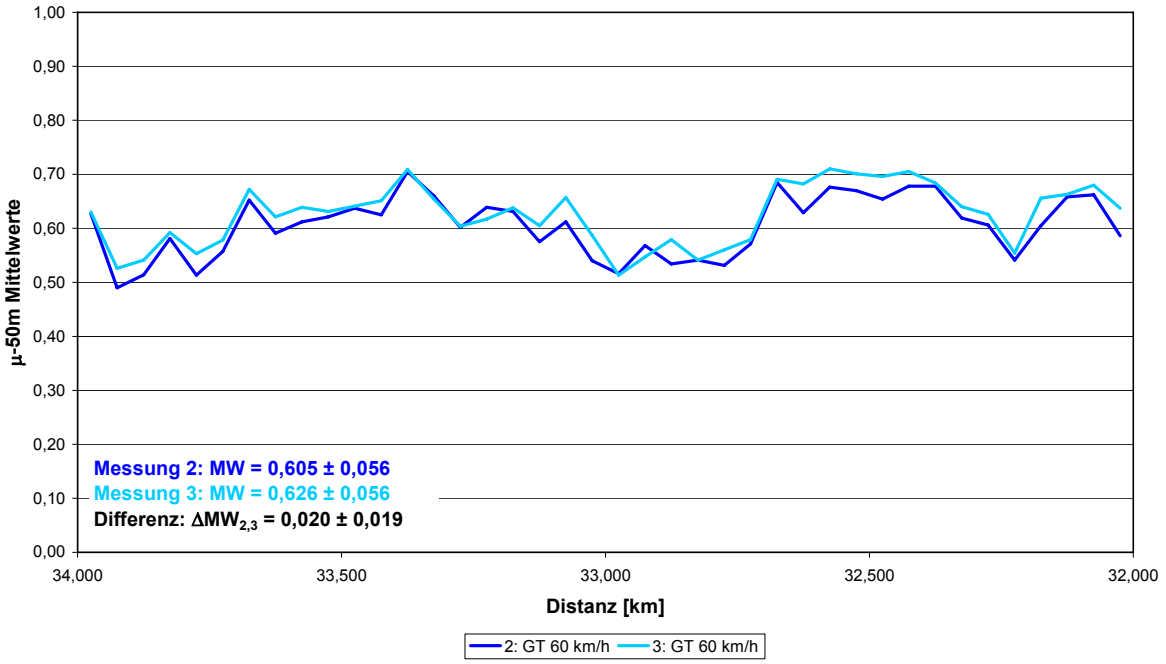
Messstrecke Nr. 35 (km 14,000 bis 16,000), 27.07.2005



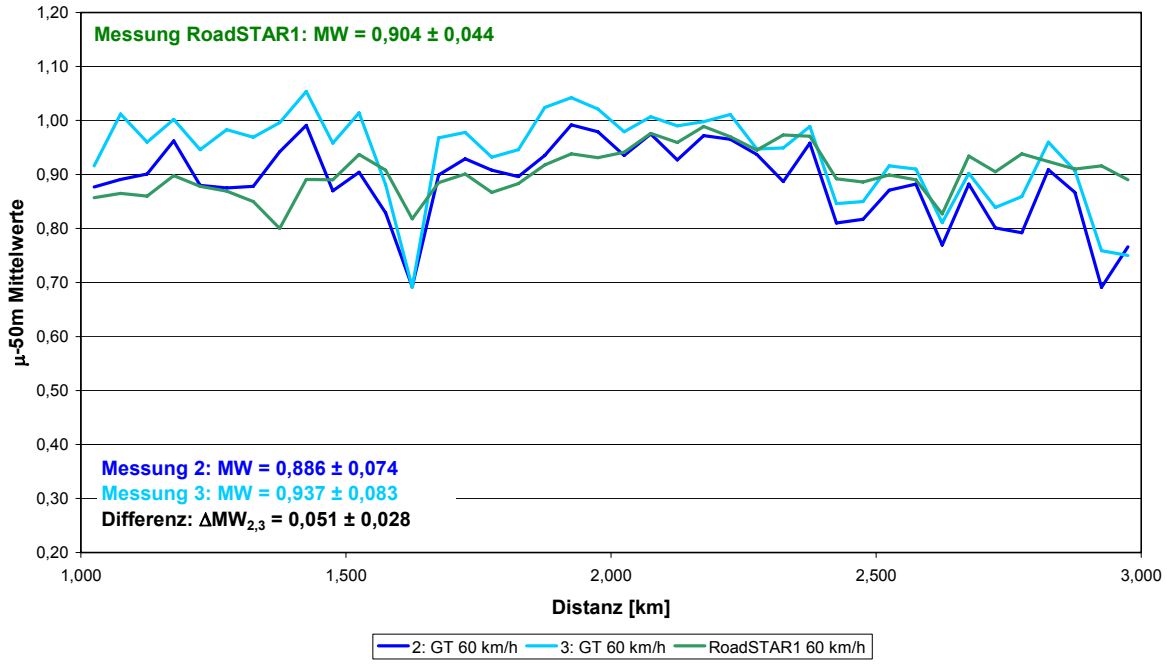
Messstrecke Nr. 36 (km 3,200 bis 1,200), 27.07.2005



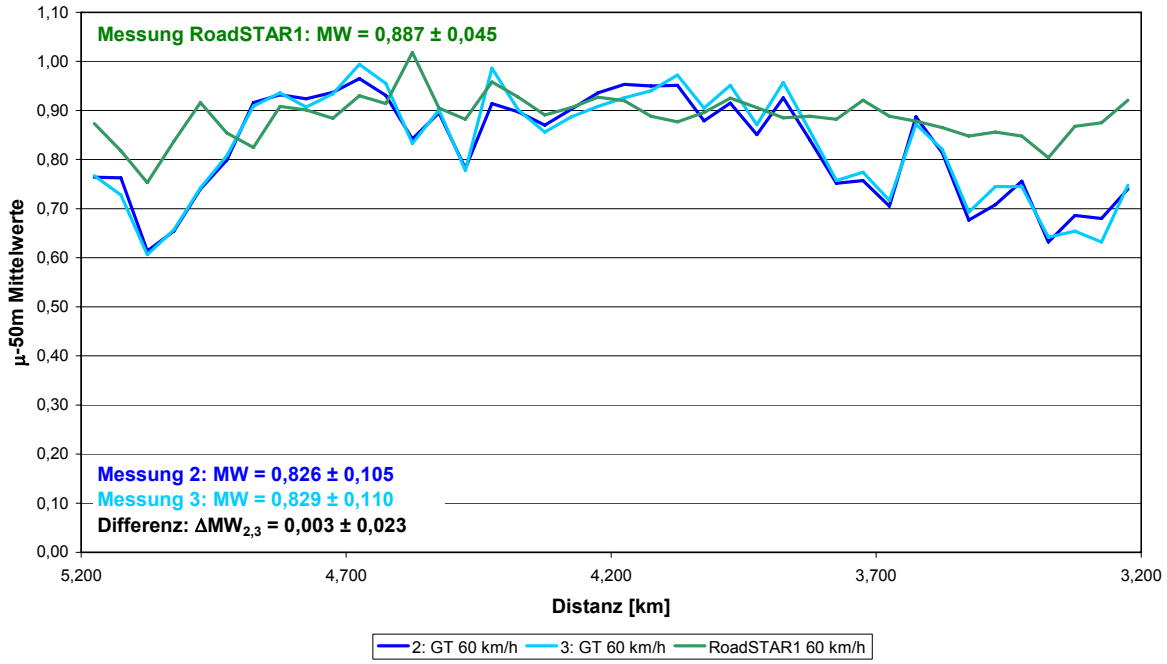
Messstrecke Nr. 37 (km 34,000 bis 32,000), 28.07.2005



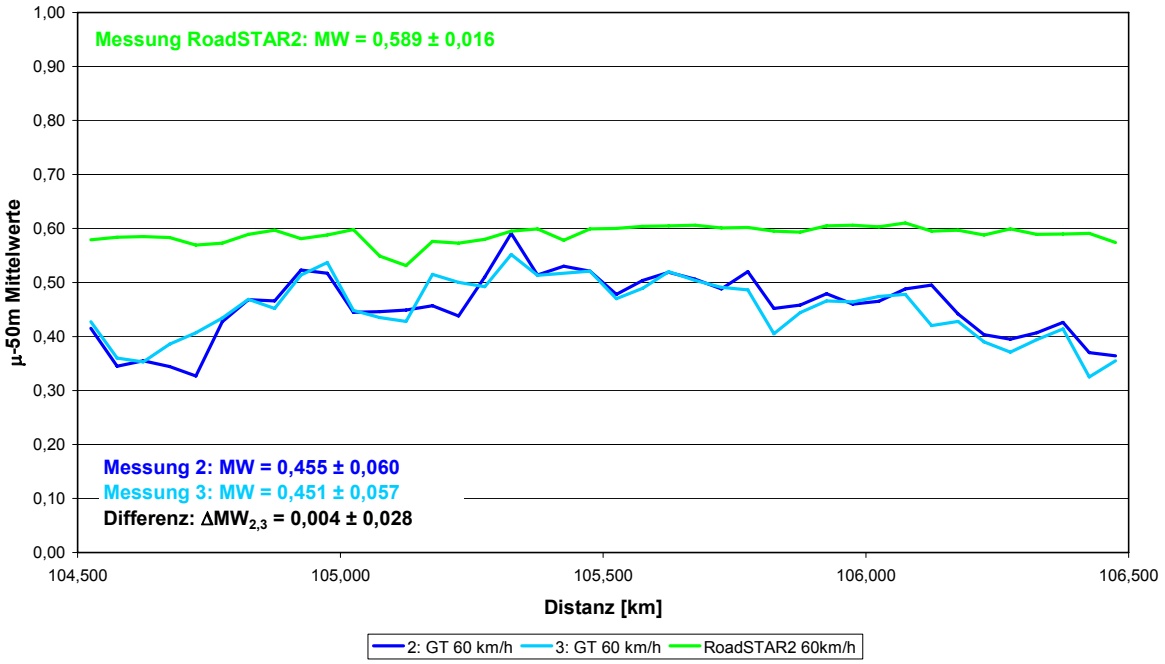
Messstrecke Nr. 38 (km 1,000 bis 3,000), 27.07.2005



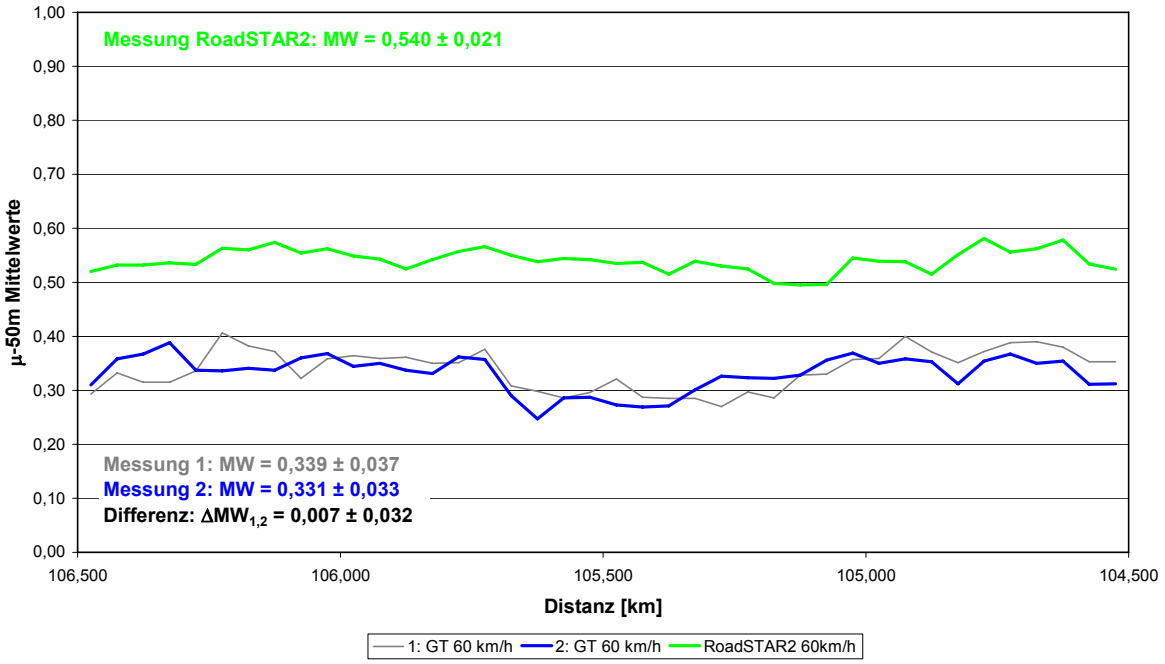
Messstrecke Nr. 39 (km 5,200 bis 3,200), 28.07.2005



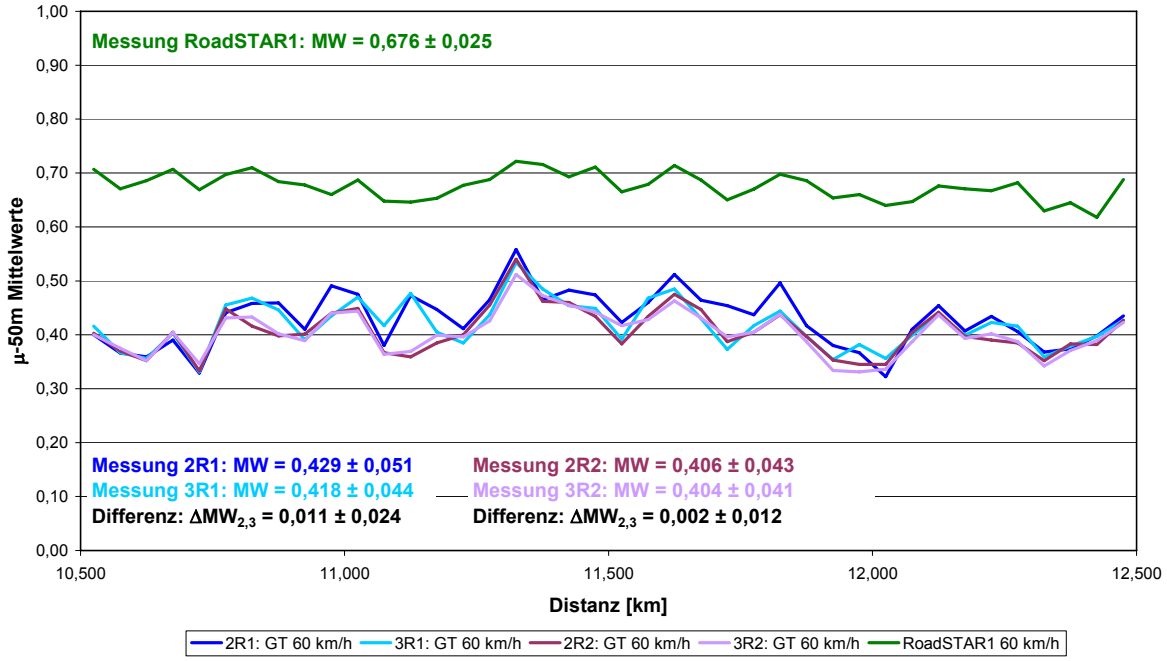
Messstrecke Nr. 40 (km 104,500 bis 106,500), 08.09.2006



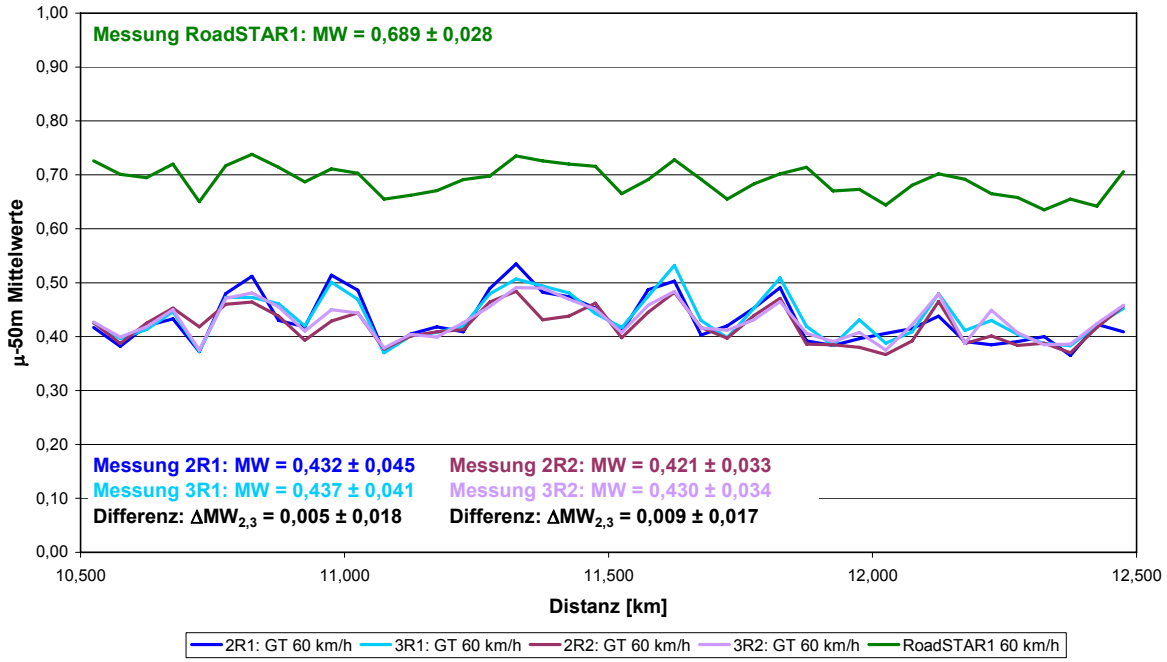
Messstrecke Nr. 41 (km 106,500 bis 104,500), 08.09.2006



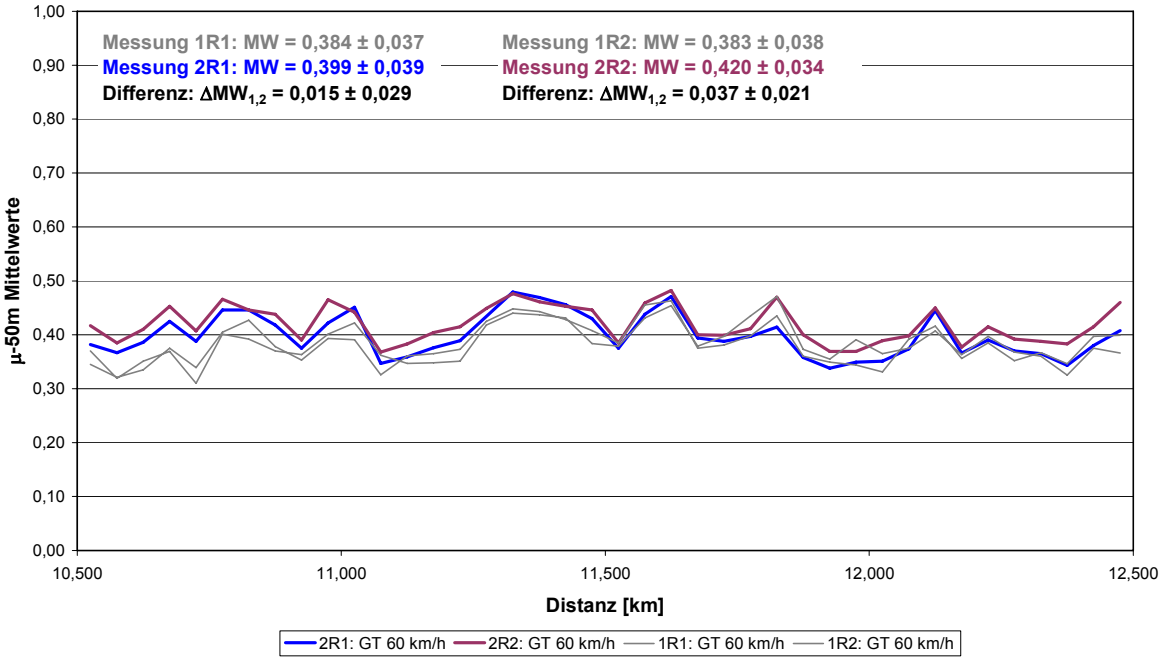
Messstrecke Nr. 42a (km 10,500 bis 12,500), 15.07.2005



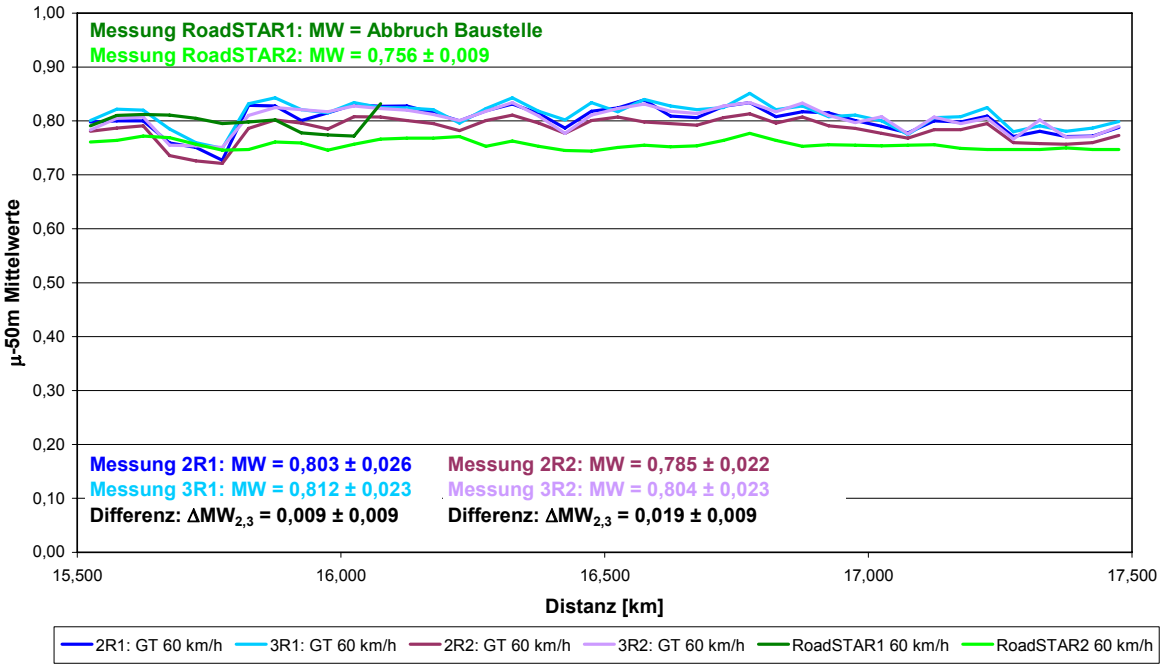
Messstrecke Nr. 42b (km 10,500 bis 12,500), 14.10.2005



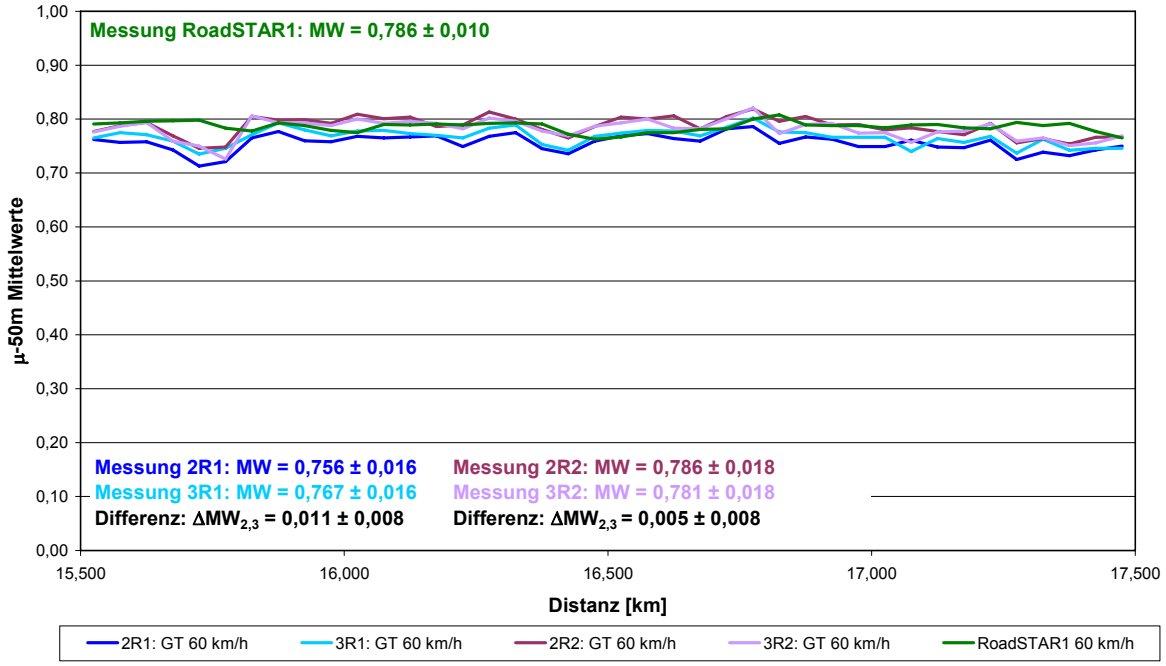
Messstrecke 42c (km 10,500 bis 12,500), 13.06.2006



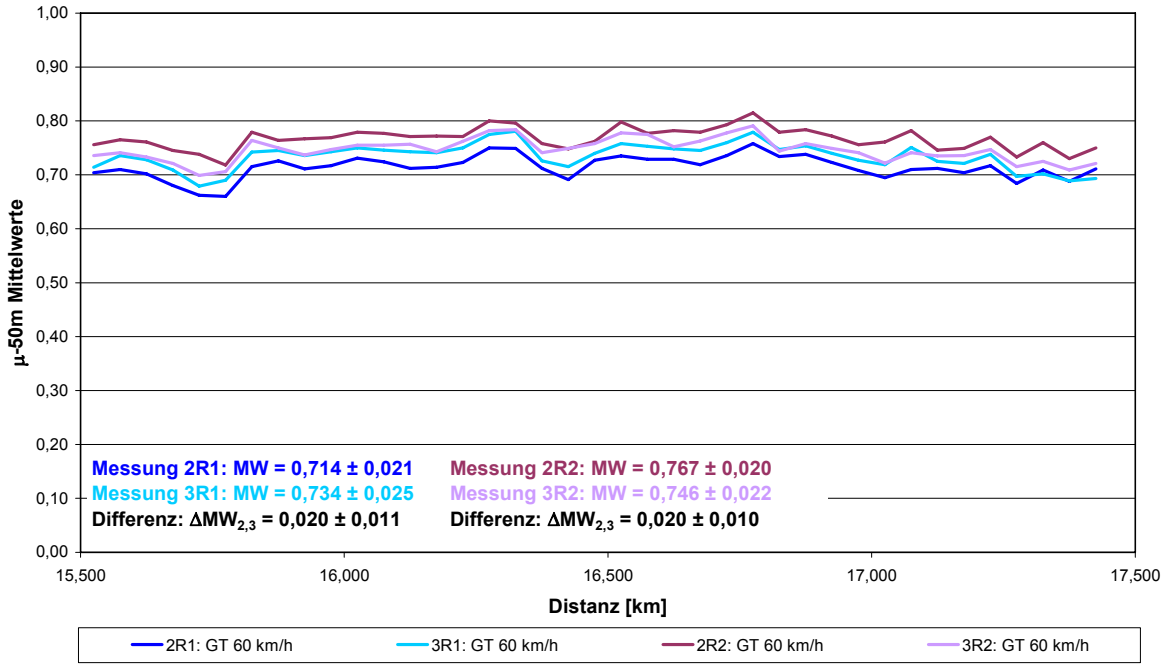
Messstrecke 43a (km 15,500 bis 17,500), 24.08.2006



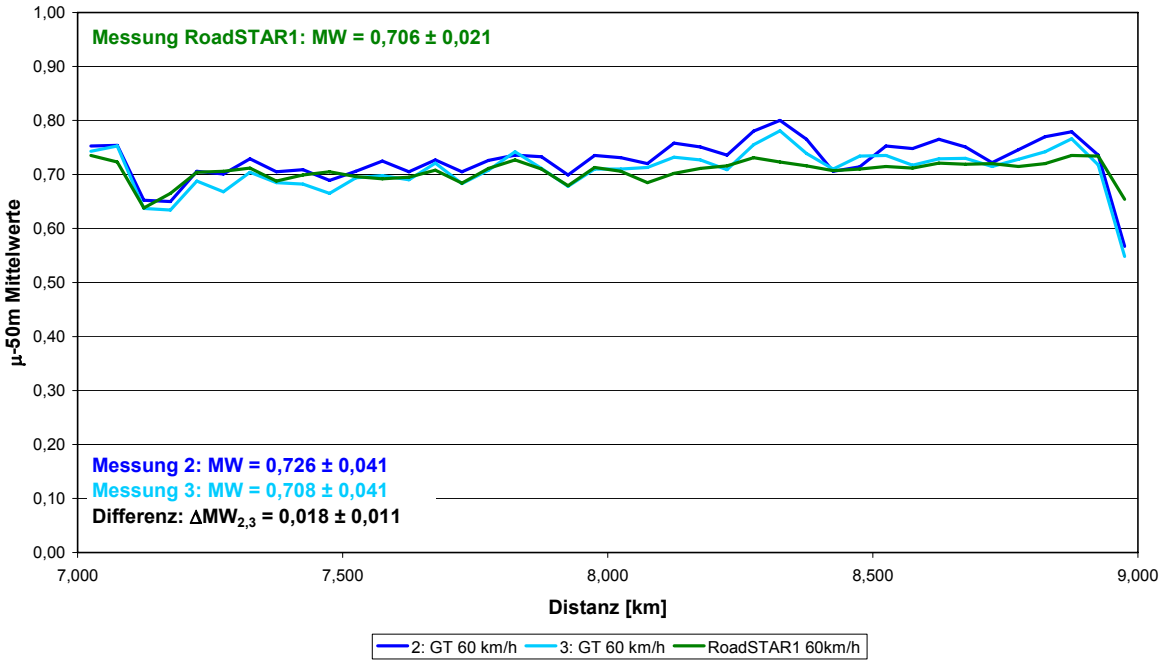
Messstrecke Nr. 43b (km 15,500 bis 17,500), 15.11.2006



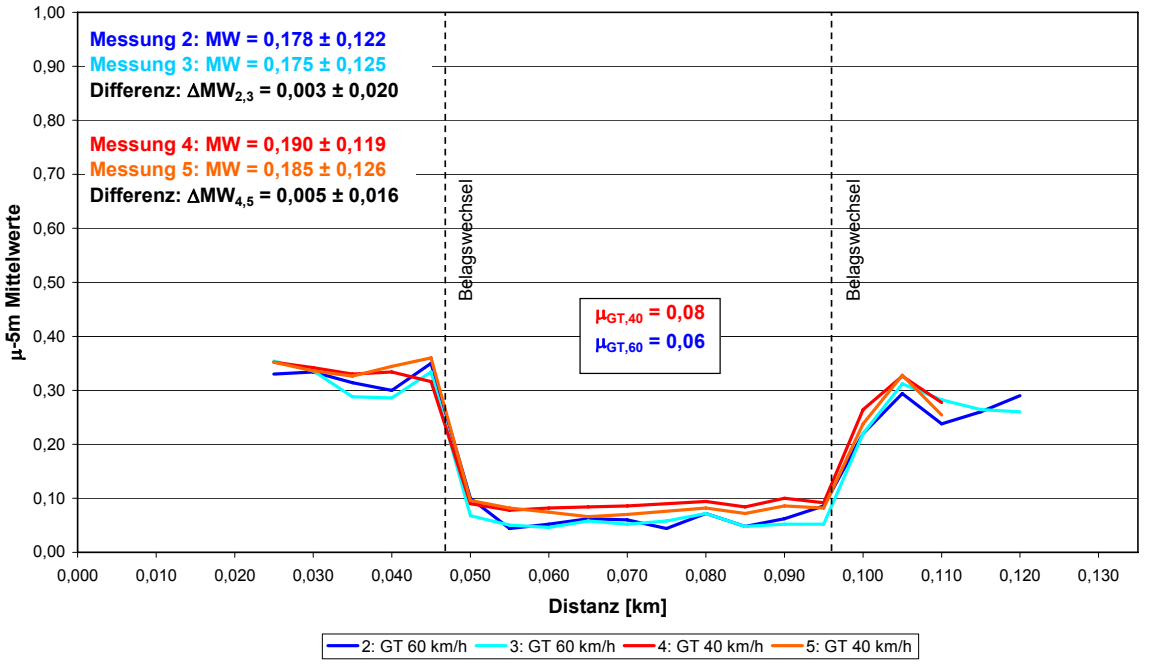
Messstrecke Nr. 43c (km 15,500 bis 17,500), 03.09.2007

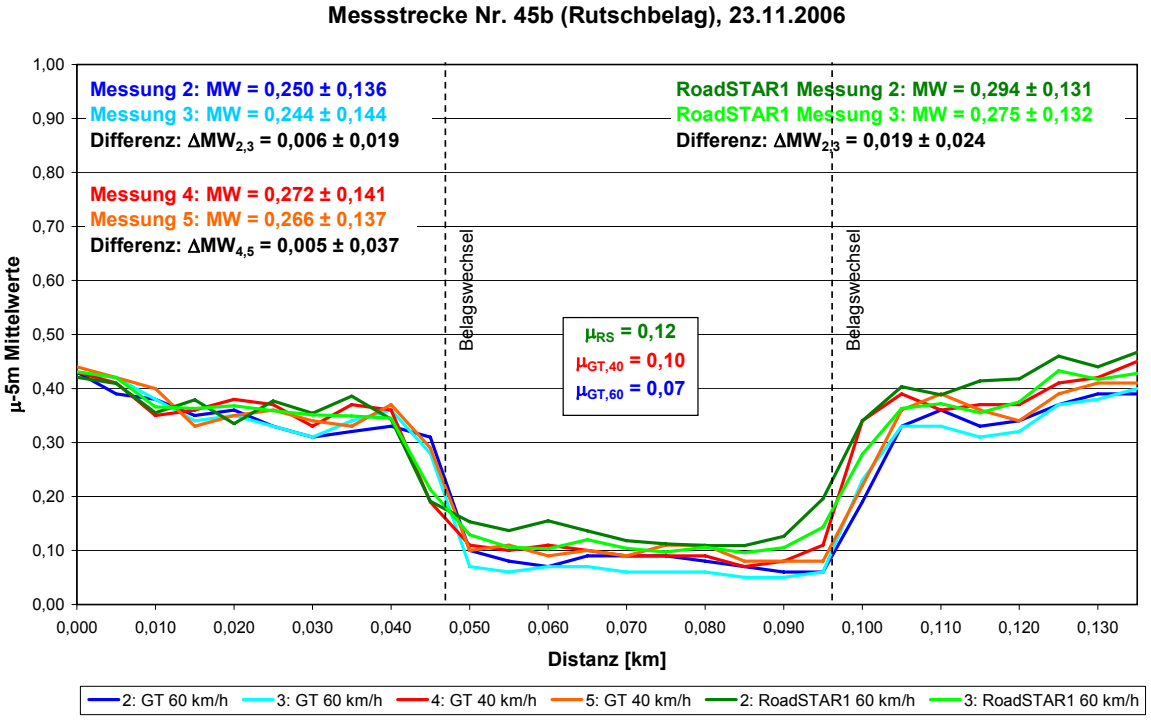


Messstrecke Nr. 44 (km 7,000 bis 9,000), 05.09.2006



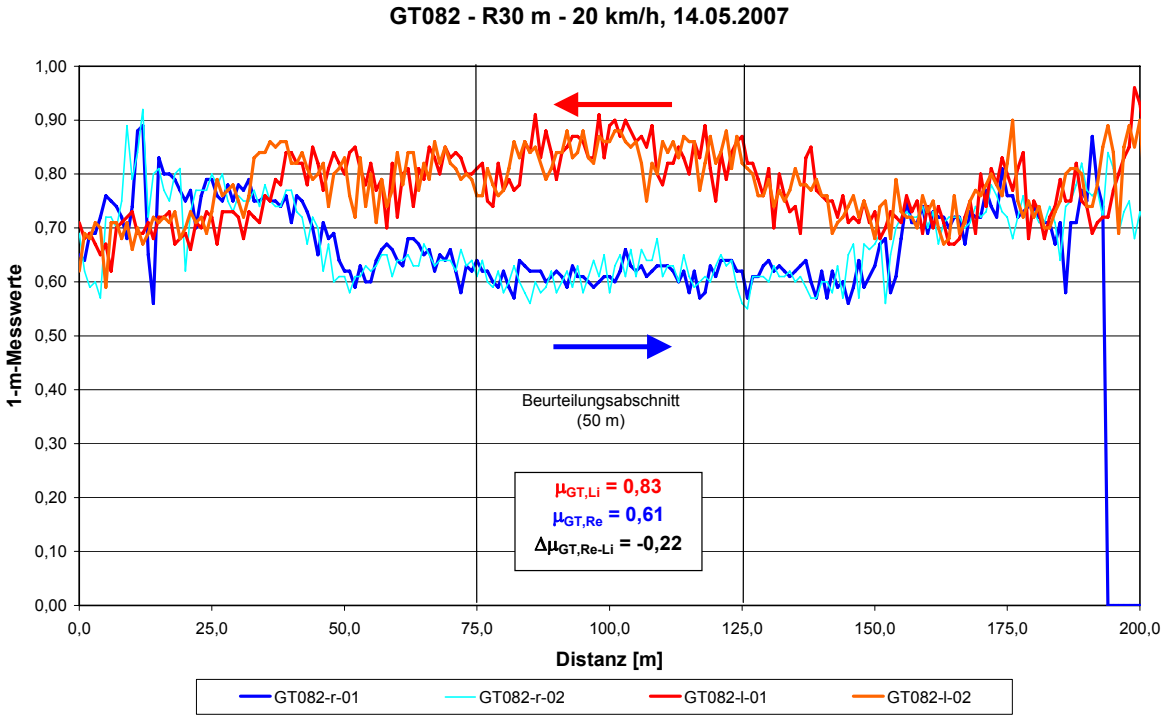
Messstrecke Nr. 45a (Rutschbelag), 20.06.2006

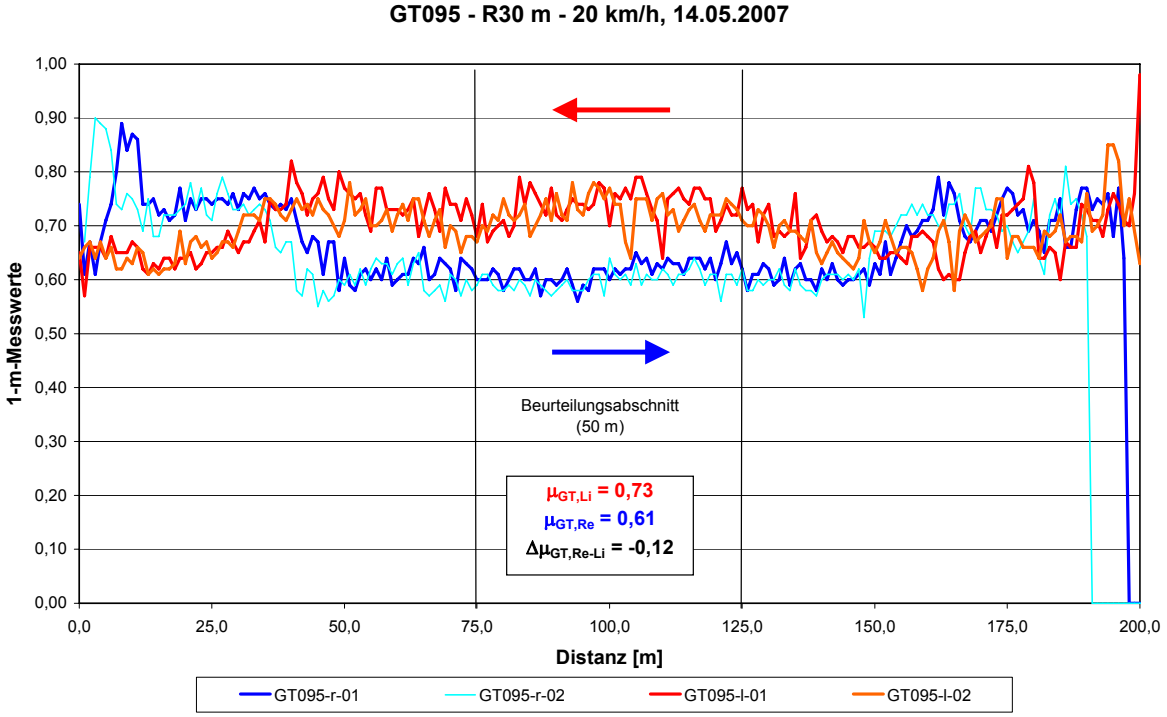


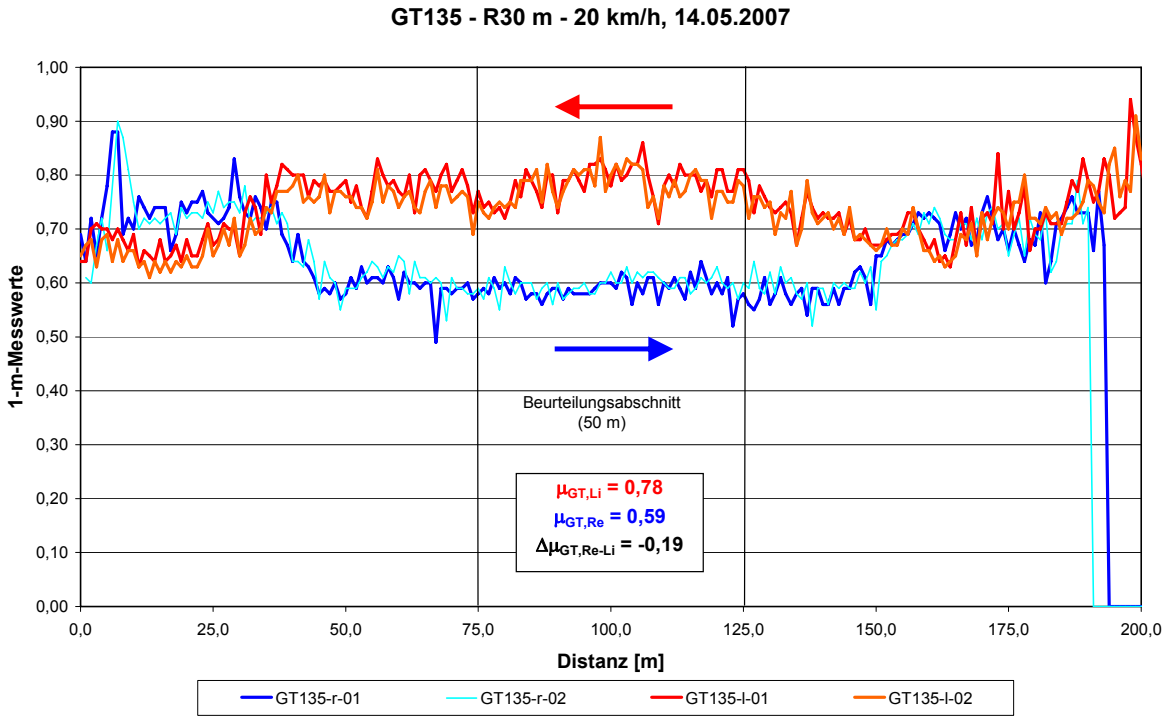

Messstrecke Nr. 45b (Rutschbelag), 23.11.2006
Messung 2: MW = 0,250 ± 0,136
Messung 3: MW = 0,244 ± 0,144
Differenz: ΔMW2,3 = 0,006 ± 0,019
Messung 4: MW = 0,272 ± 0,141
Messung 5: MW = 0,266 ± 0,137
Differenz: ΔMW4,5 = 0,005 ± 0,037
RoadSTAR1 Messung 2: MW = 0,294 ± 0,131
RoadSTAR1 Messung 3: MW = 0,275 ± 0,132
Differenz: ΔMW2,3 = 0,019 ± 0,024
μRS = 0,12
μGT,40 = 0,10
μGT,60 = 0,07
Belagswechsel
Belagswechsel
μ-5m Mittelwerte
Distanz [km]
2: GT 60 km/h
3: GT 60 km/h
4: GT 40 km/h
5: GT 40 km/h
2: RoadSTAR1 60 km/h
3: RoadSTAR1 60 km/h

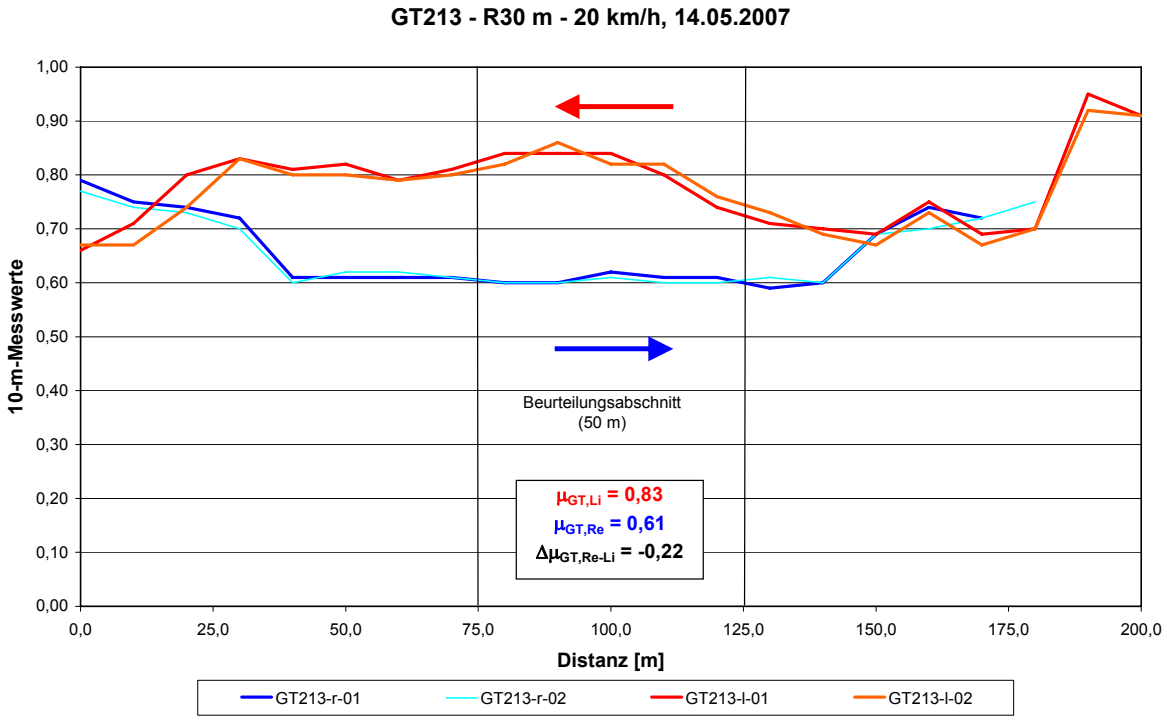
Anhang C: GripTester Messungen auf dem „SkidPad“ (2007)

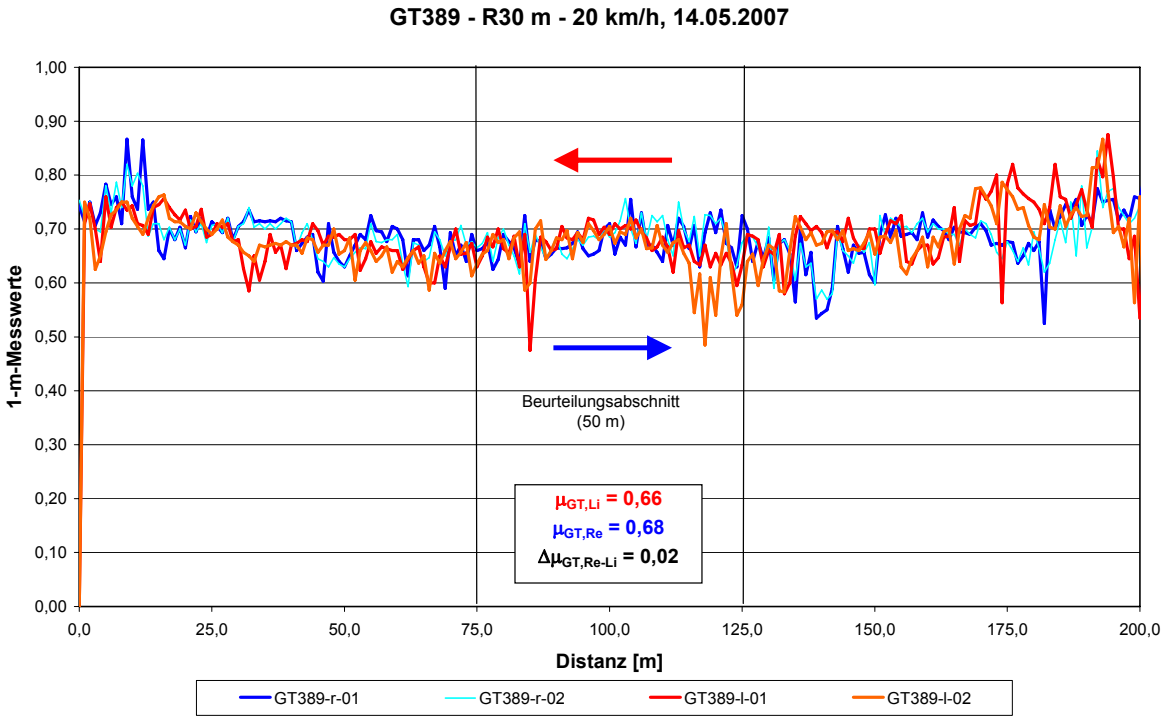
Kurvenradius R = 30 m, Messgeschwindigkeit = 20 km/h

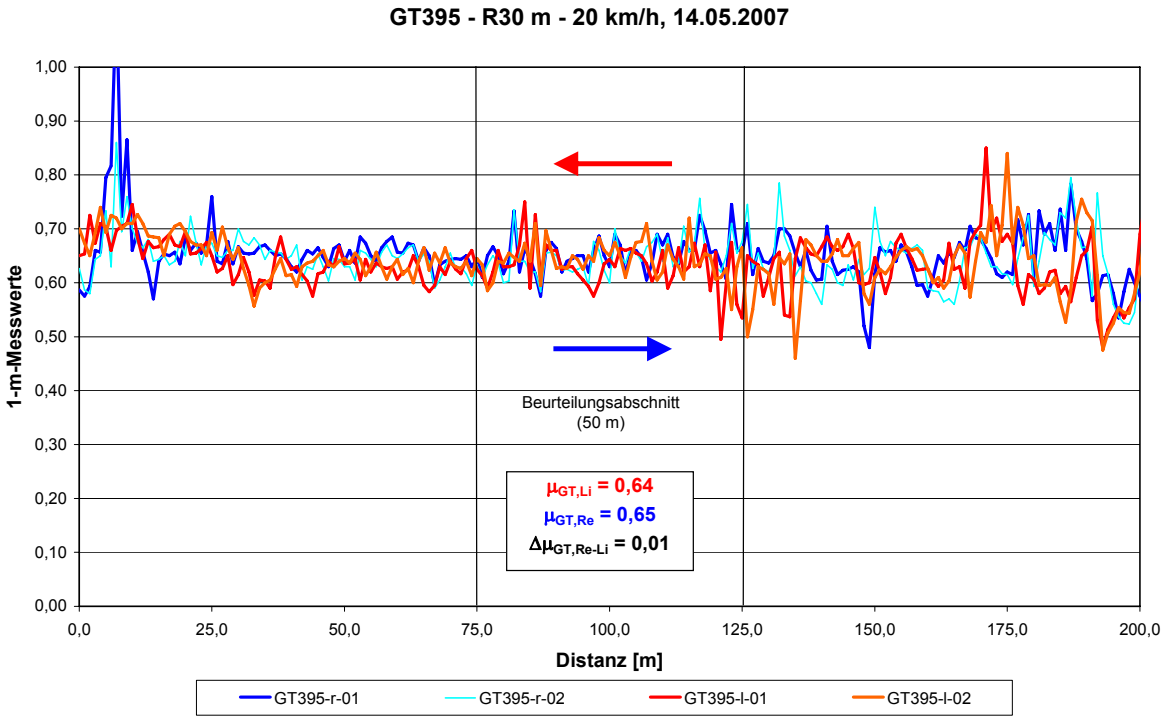


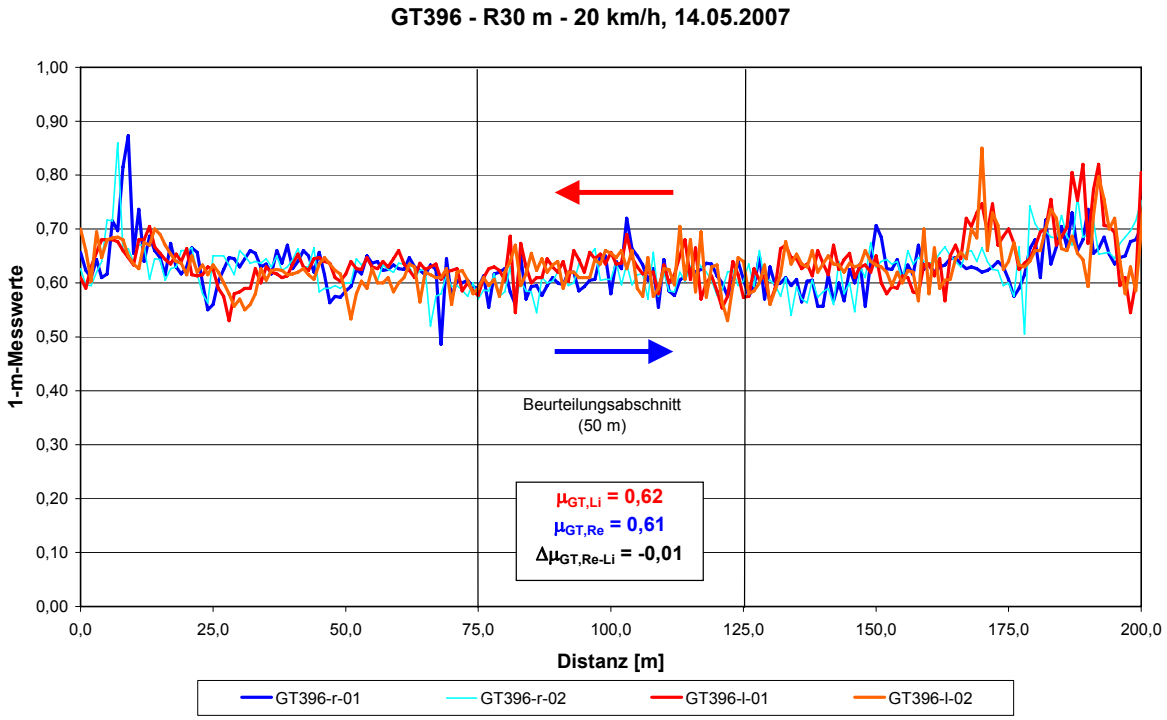



GT135 - R30 m - 20 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,78
μGT,Re = 0,59
ΔμGT,Re-Li = -0,19
GT135-r-01
GT135-r-02
GT135-l-01
GT135-l-02

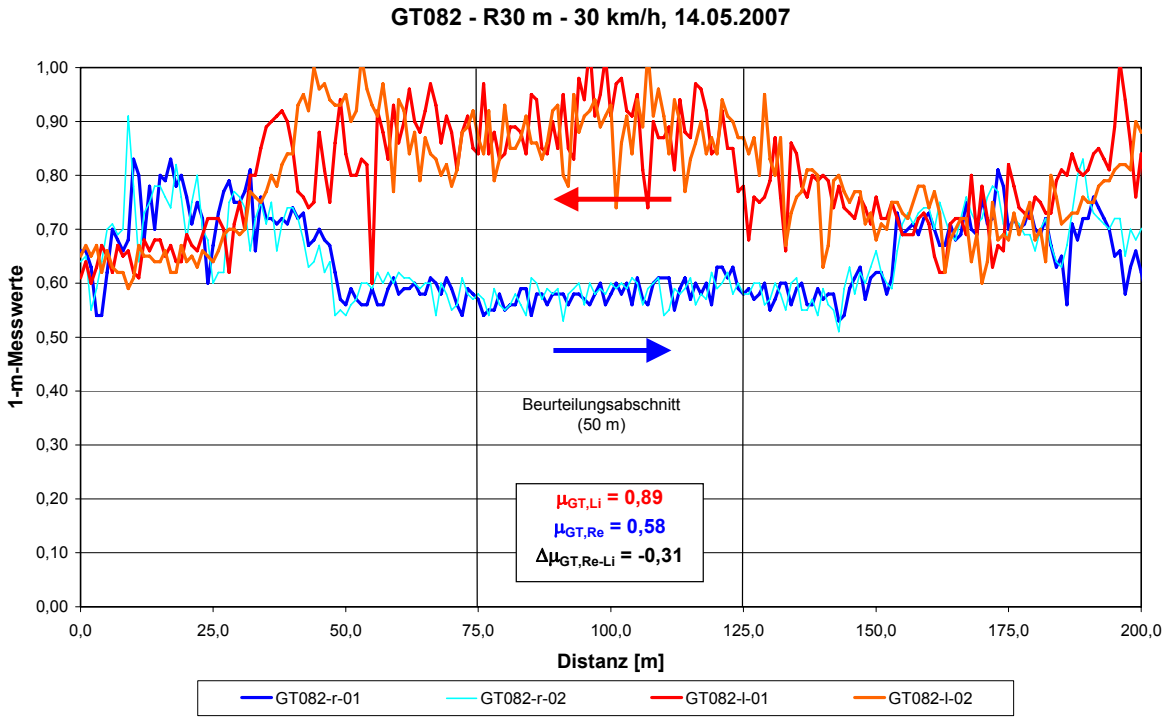

GT213 - R30 m - 20 km/h, 14.05.2007
10-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,83
μGT,Re = 0,61
ΔμGT,Re-Li = -0,22
GT213-r-01
GT213-r-02
GT213-l-01
GT213-l-02

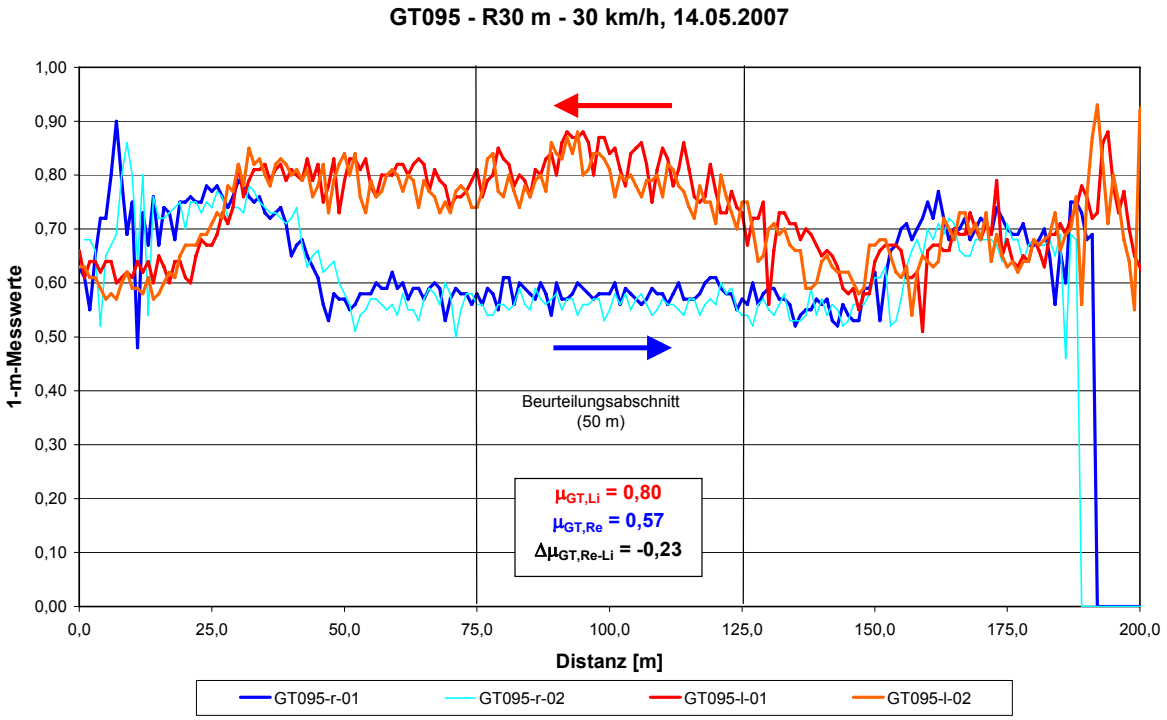

GT389 - R30 m - 20 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,66
μGT,Re = 0,68
ΔμGT,Re-Li = 0,02
GT389-r-01
GT389-r-02
GT389-l-01
GT389-l-02

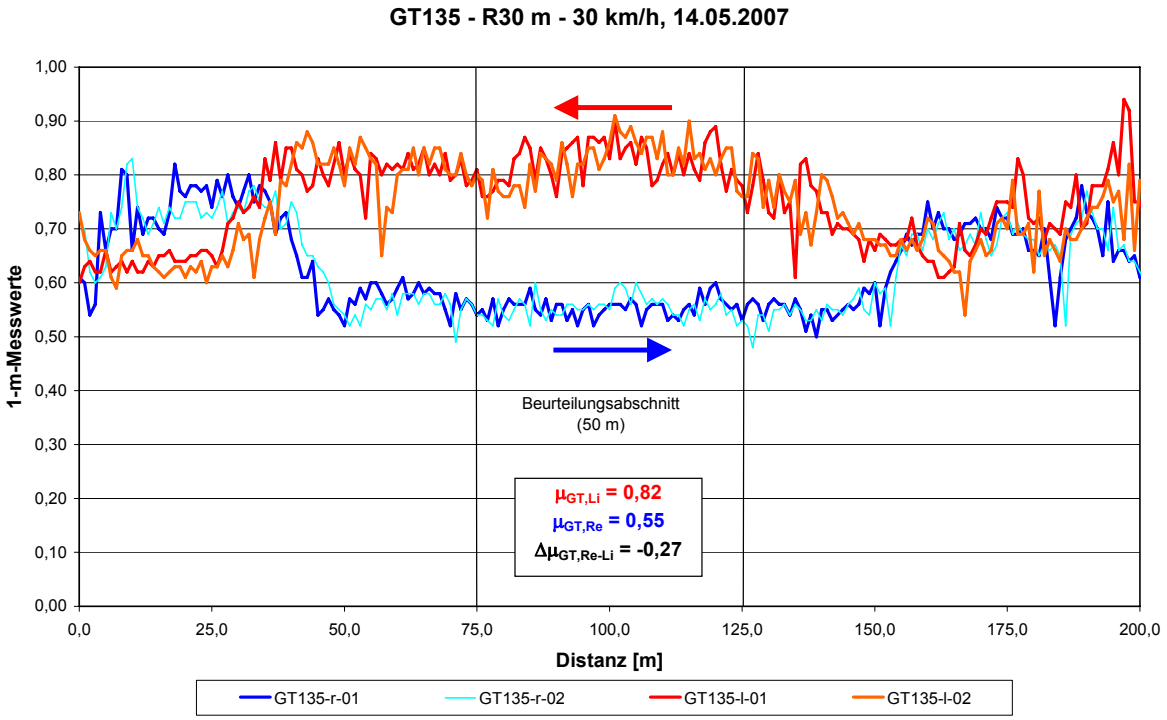

GT395 - R30 m - 20 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,64
μGT,Re = 0,65
ΔμGT,Re-Li = 0,01
GT395-r-01
GT395-r-02
GT395-l-01
GT395-l-02

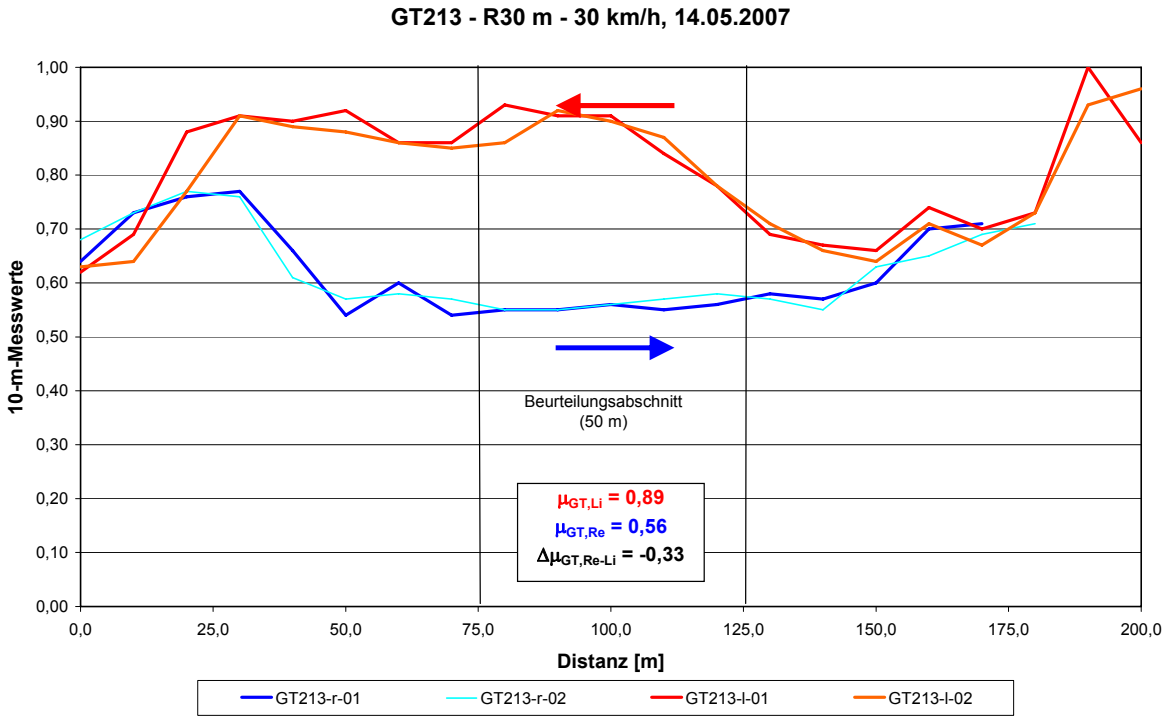


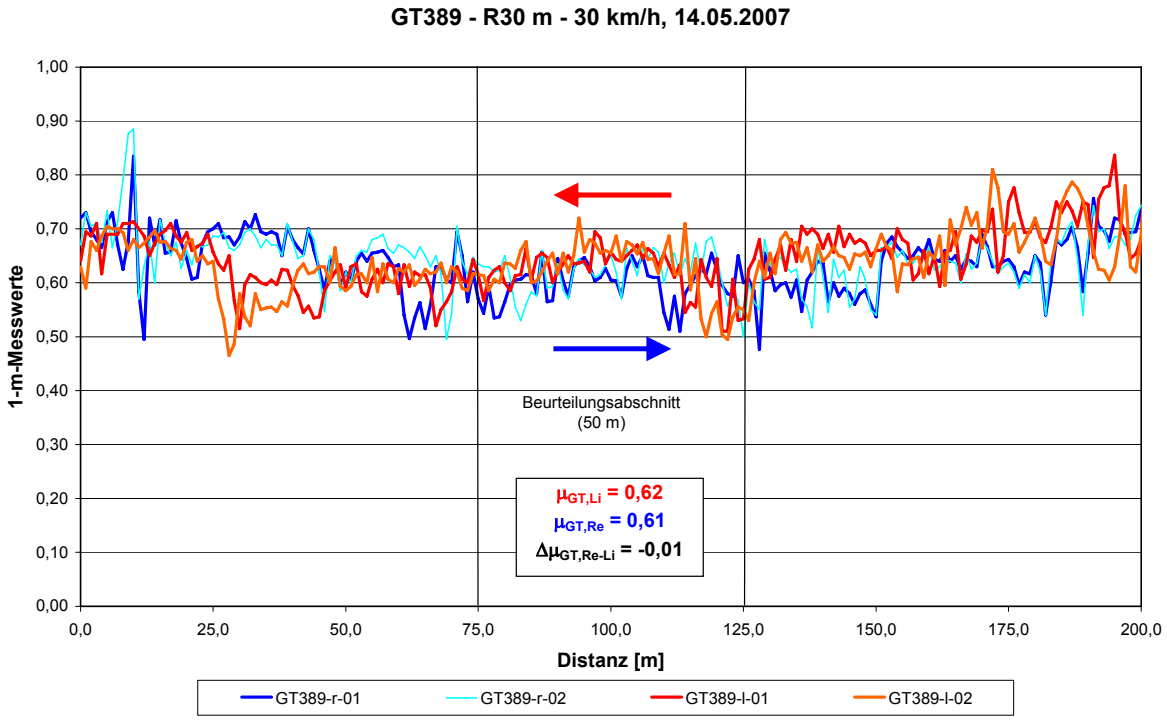
Kurvenradius R = 30 m, Messgeschwindigkeit = 30 km/h

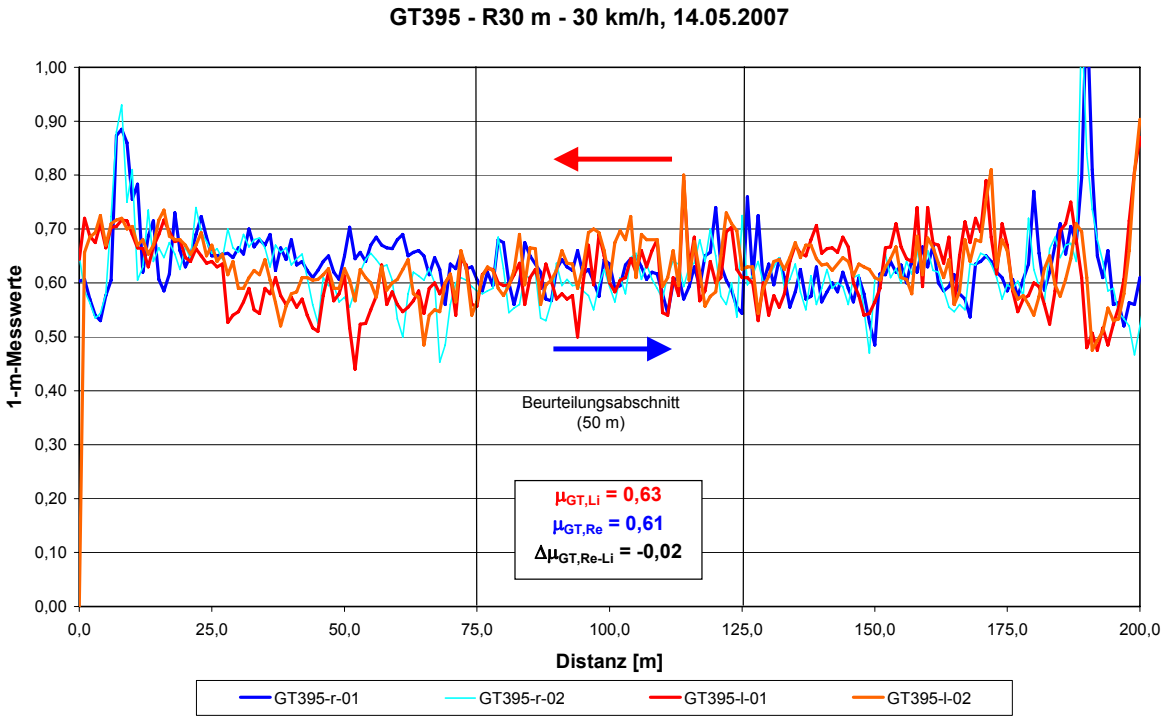


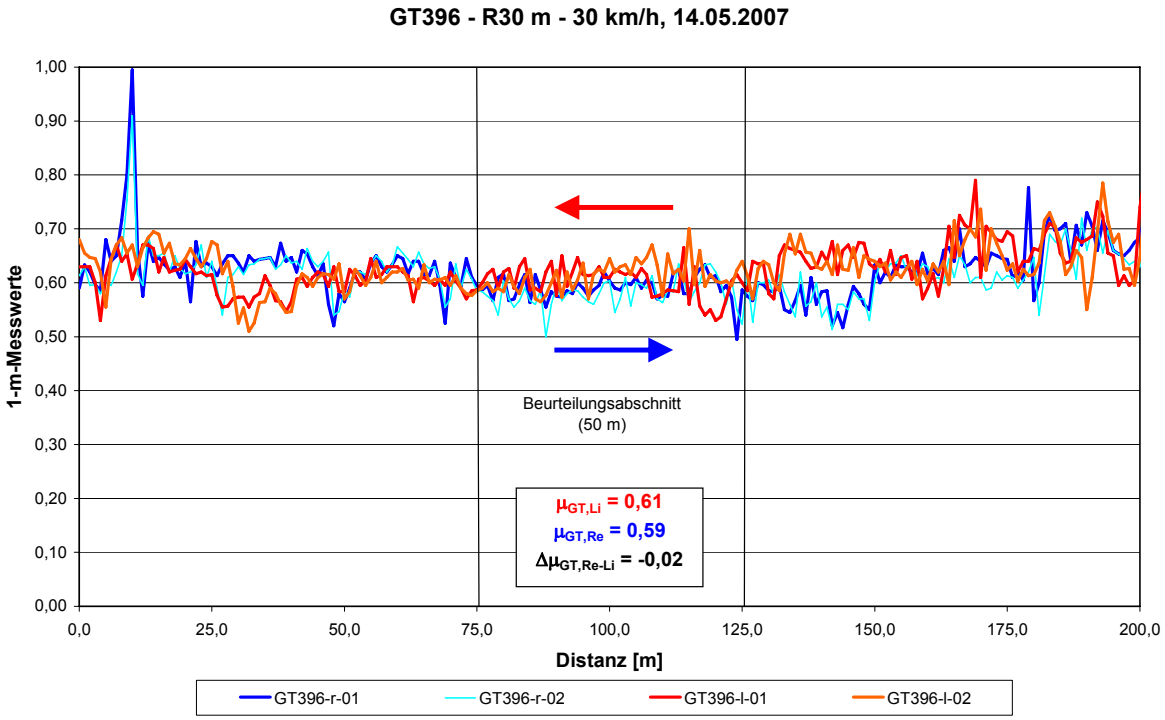

GT095 - R30 m - 30 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,80
μGT,Re = 0,57
ΔμGT,Re-Li = -0,23
GT095-r-01
GT095-r-02
GT095-l-01
GT095-l-02


GT135 - R30 m - 30 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,82
μGT,Re = 0,55
ΔμGT,Re-Li = -0,27
GT135-r-01
GT135-r-02
GT135-l-01
GT135-l-02

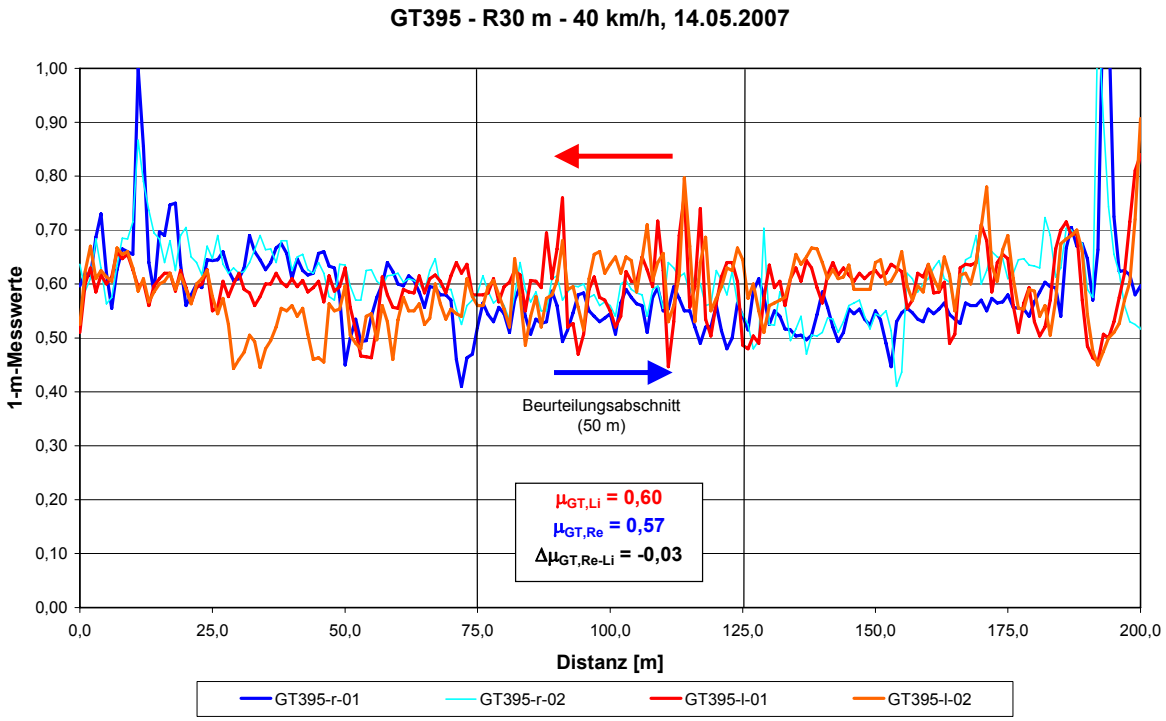

GT213 - R30 m - 30 km/h, 14.05.2007
10-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,89
μGT,Re = 0,56
ΔμGT,Re-Li = -0,33
GT213-r-01
GT213-r-02
GT213-l-01
GT213-l-02


GT389 - R30 m - 30 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,62
μGT,Re = 0,61
ΔμGT,Re-Li = -0,01
GT389-r-01
GT389-r-02
GT389-l-01
GT389-l-02

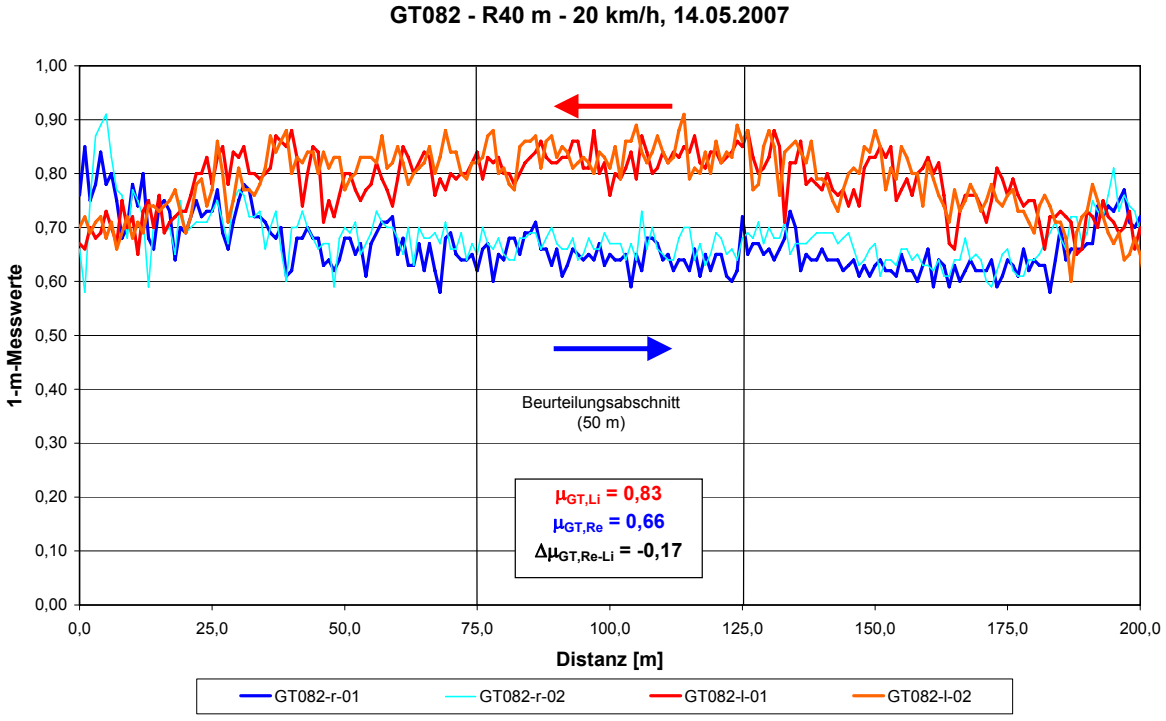

GT395 - R30 m - 30 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,63
μGT,Re = 0,61
ΔμGT,Re-Li = -0,02
GT395-r-01
GT395-r-02
GT395-l-01
GT395-l-02

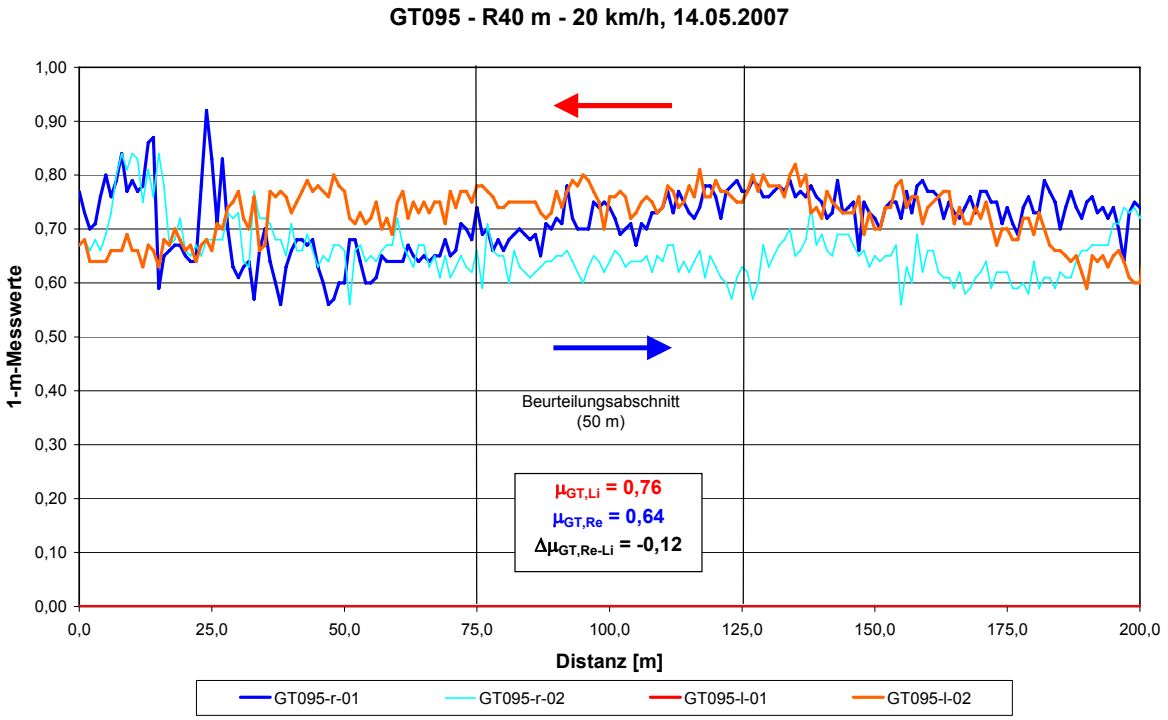

GT396 - R30 m - 30 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,61
μGT,Re = 0,59
ΔμGT,Re-Li = -0,02
GT396-r-01
GT396-r-02
GT396-l-01
GT396-l-02

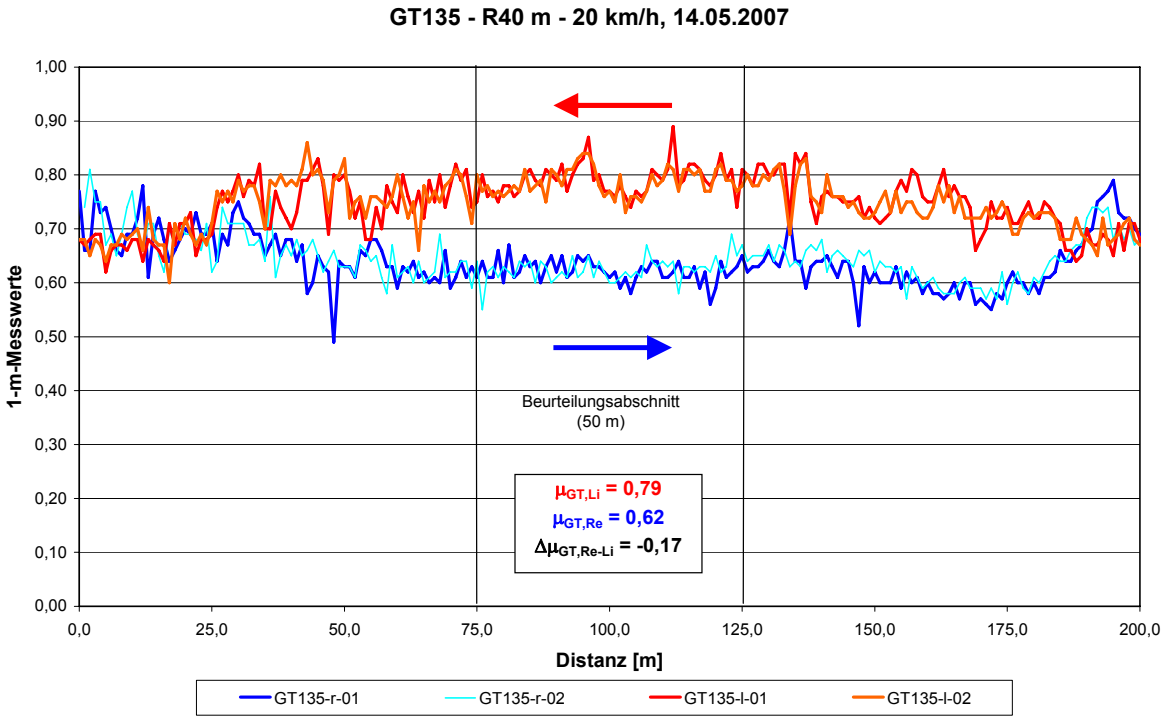
Kurvenradius R = 30 m, Messgeschwindigkeit = 40 km/h

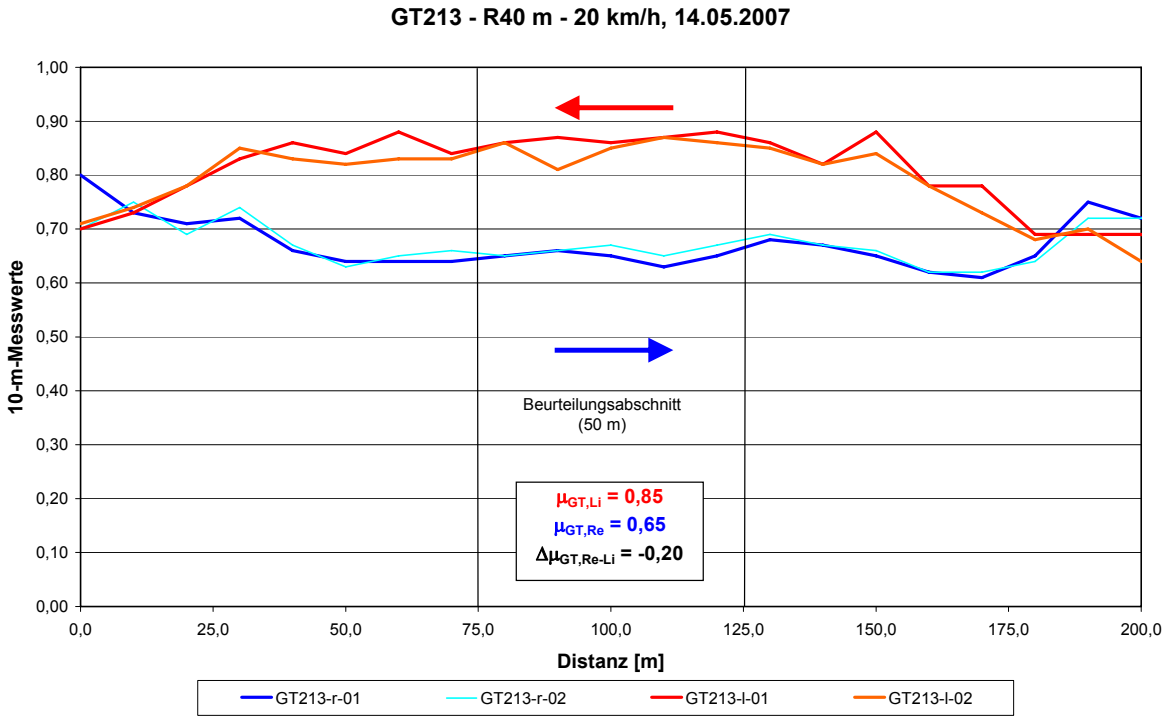


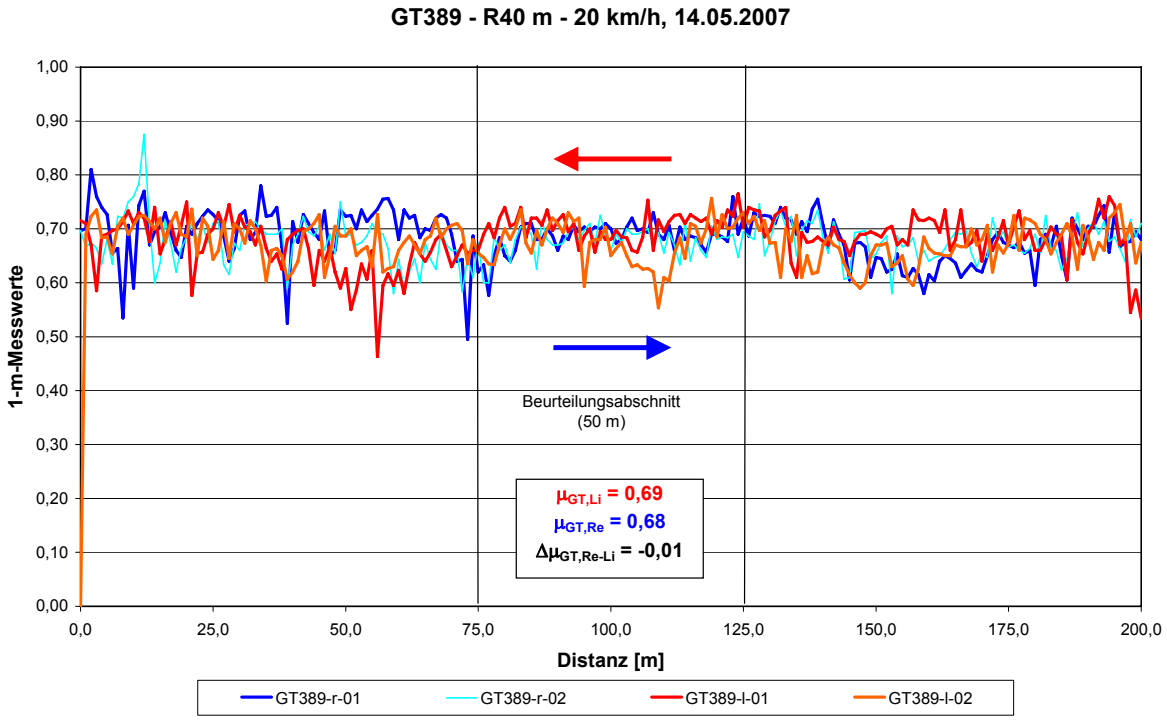
Kurvenradius R = 40 m, Messgeschwindigkeit = 20 km/h

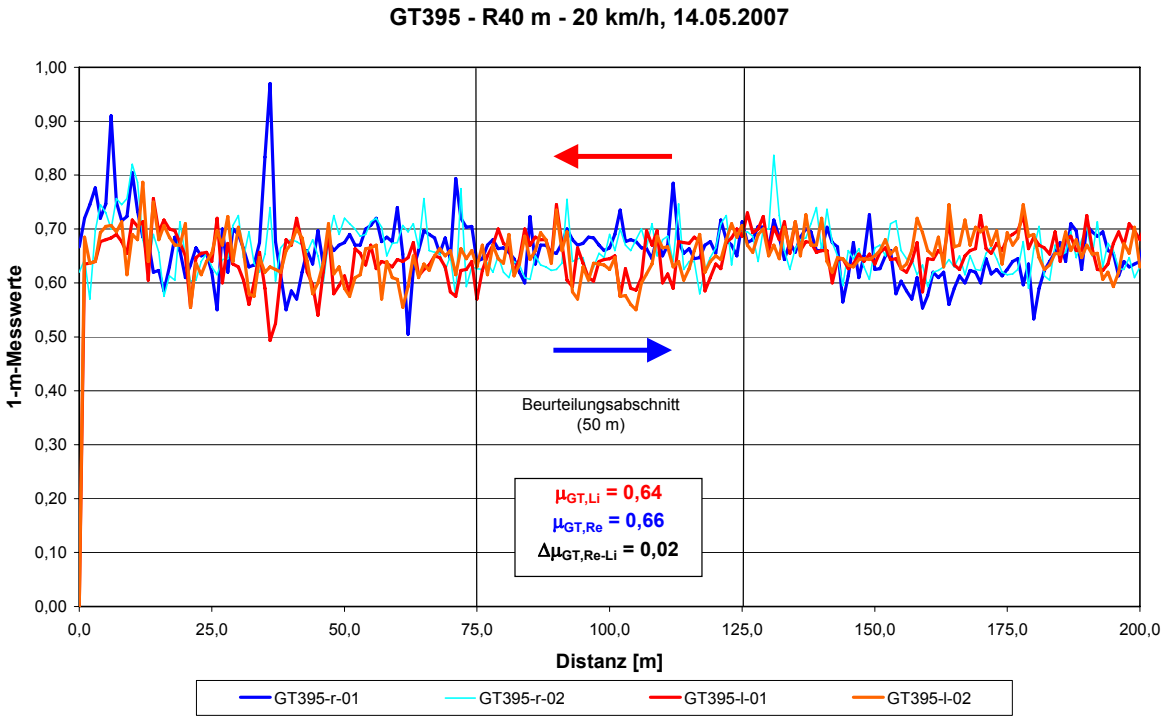


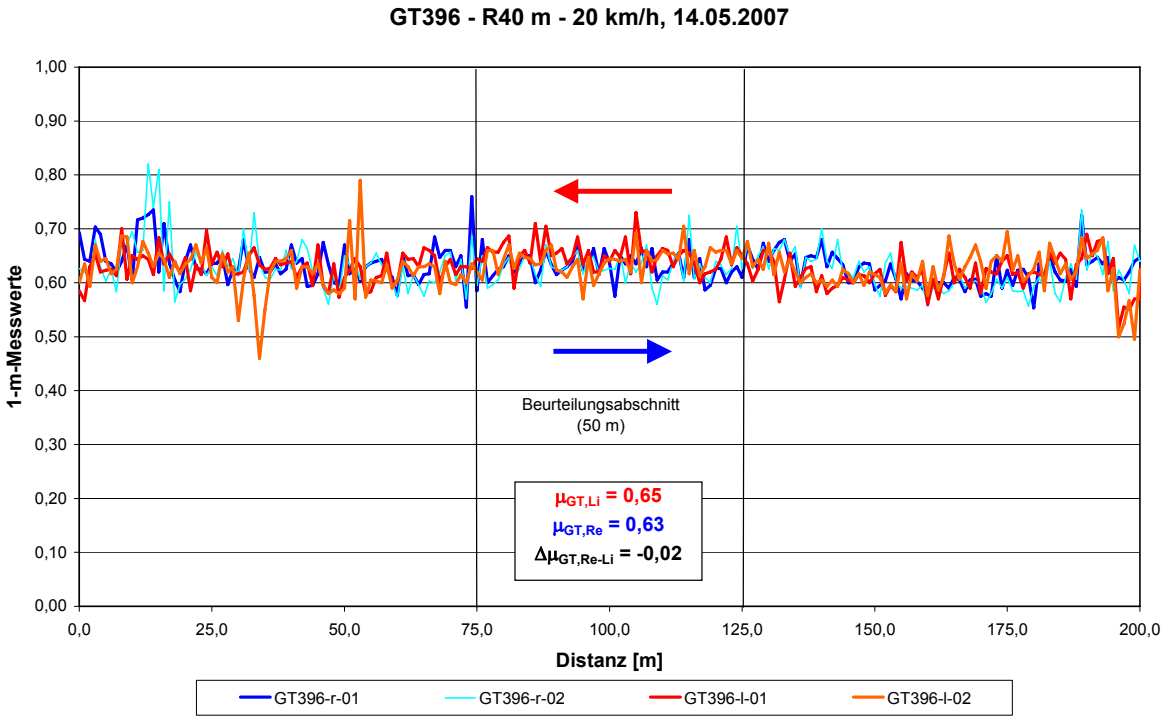

GT095 - R40 m - 20 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,76
μGT,Re = 0,64
ΔμGT,Re-Li = -0,12
GT095-r-01
GT095-r-02
GT095-l-01
GT095-l-02


GT135 - R40 m - 20 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,79
μGT,Re = 0,62
ΔμGT,Re-Li = -0,17
GT135-r-01
GT135-r-02
GT135-l-01
GT135-l-02

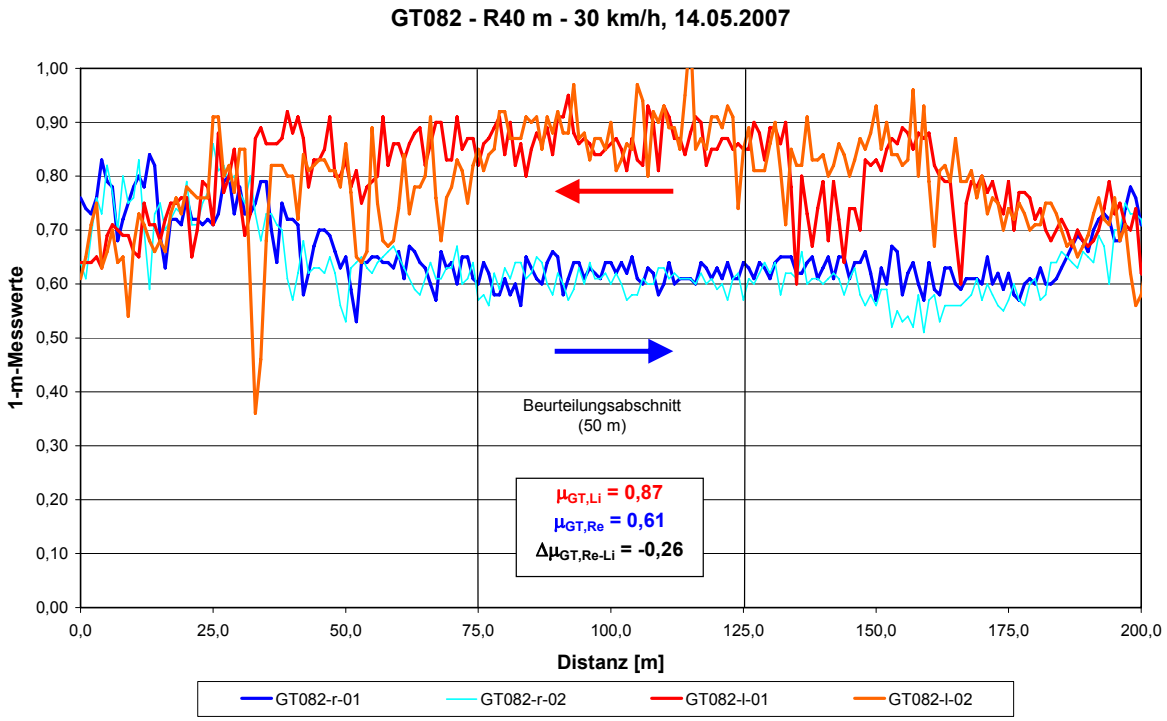

GT213 - R40 m - 20 km/h, 14.05.2007
10-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,85
μGT,Re = 0,65
ΔμGT,Re-Li = -0,20
GT213-r-01
GT213-r-02
GT213-l-01
GT213-l-02

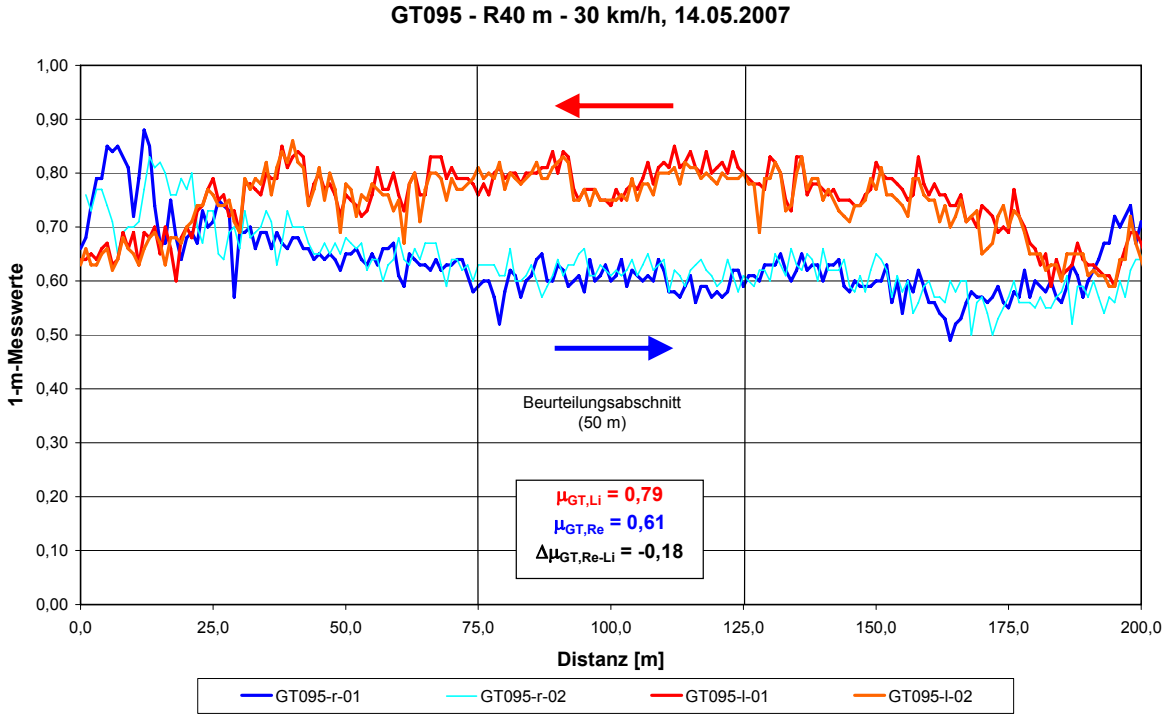

GT389 - R40 m - 20 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,69
μGT,Re = 0,68
ΔμGT,Re-Li = -0,01
GT389-r-01
GT389-r-02
GT389-l-01
GT389-l-02

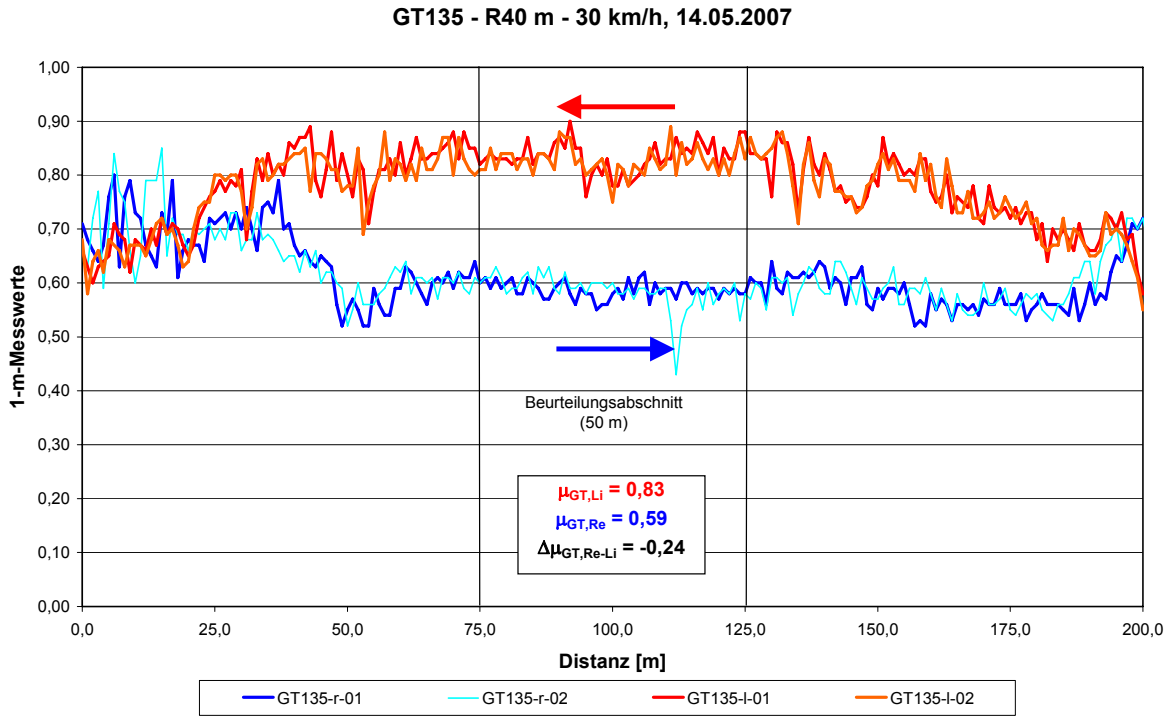

GT395 - R40 m - 20 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,64
μGT,Re = 0,66
ΔμGT,Re-Li = 0,02
GT395-r-01
GT395-r-02
GT395-l-01
GT395-l-02

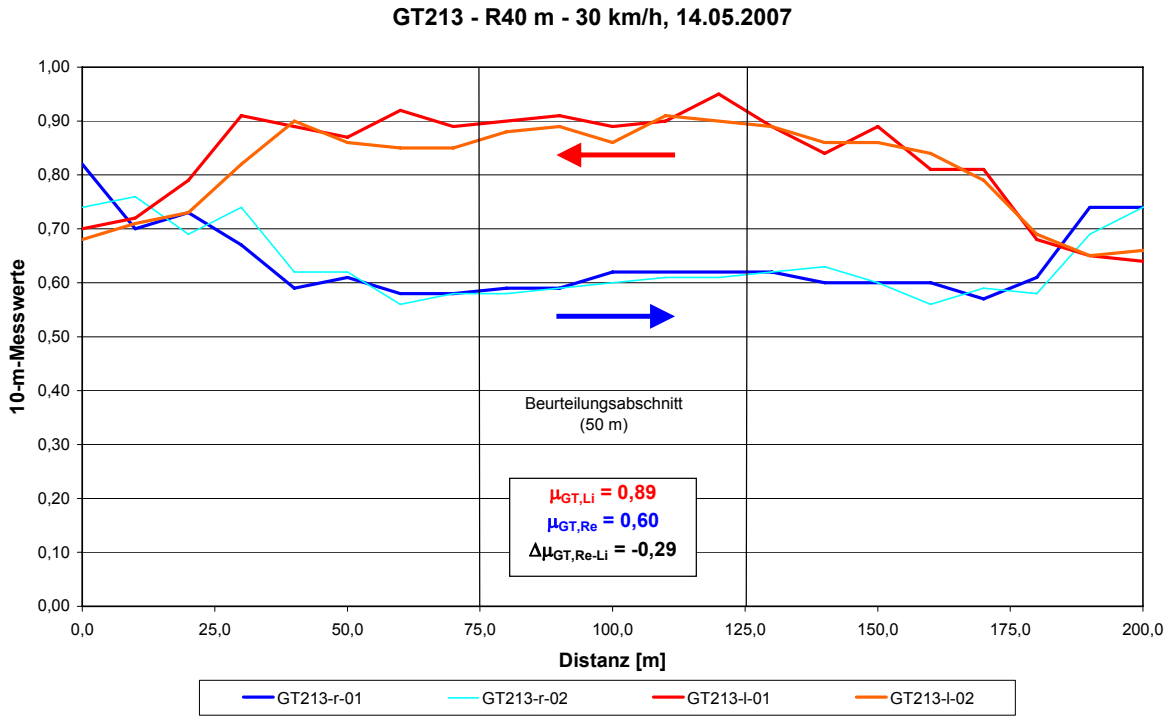

GT396 - R40 m - 20 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,65
μGT,Re = 0,63
ΔμGT,Re-Li = -0,02
GT396-r-01
GT396-r-02
GT396-l-01
GT396-l-02

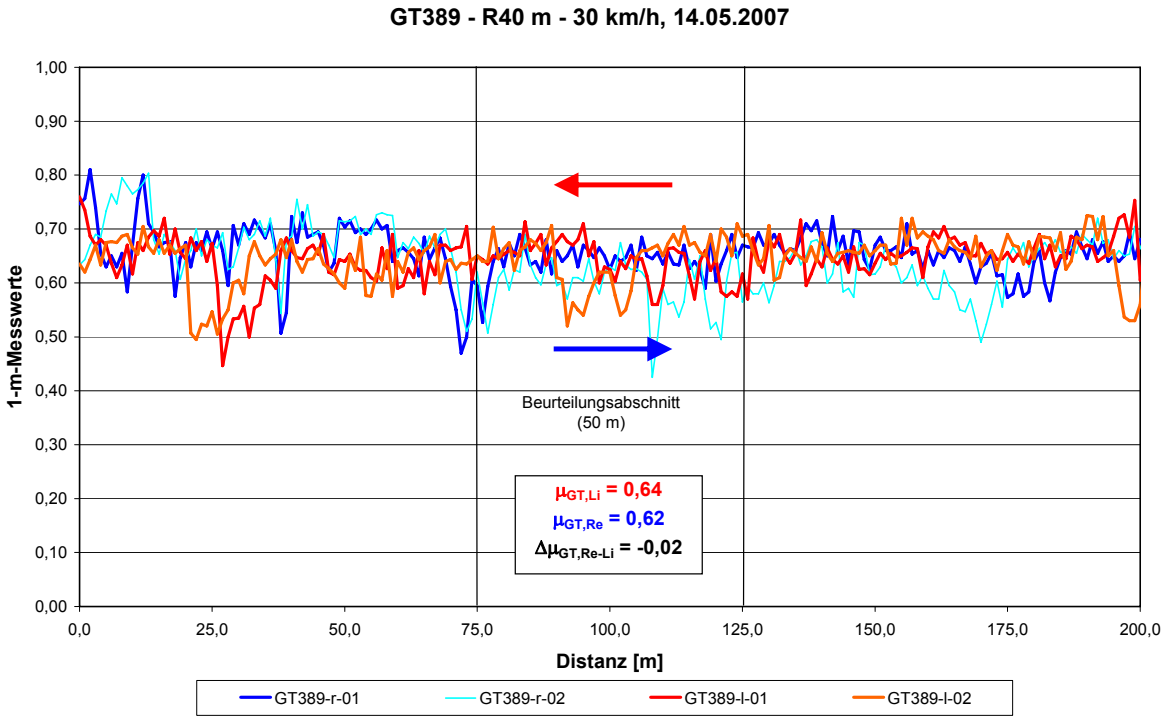
Kurvenradius R = 40 m, Messgeschwindigkeit = 30 km/h

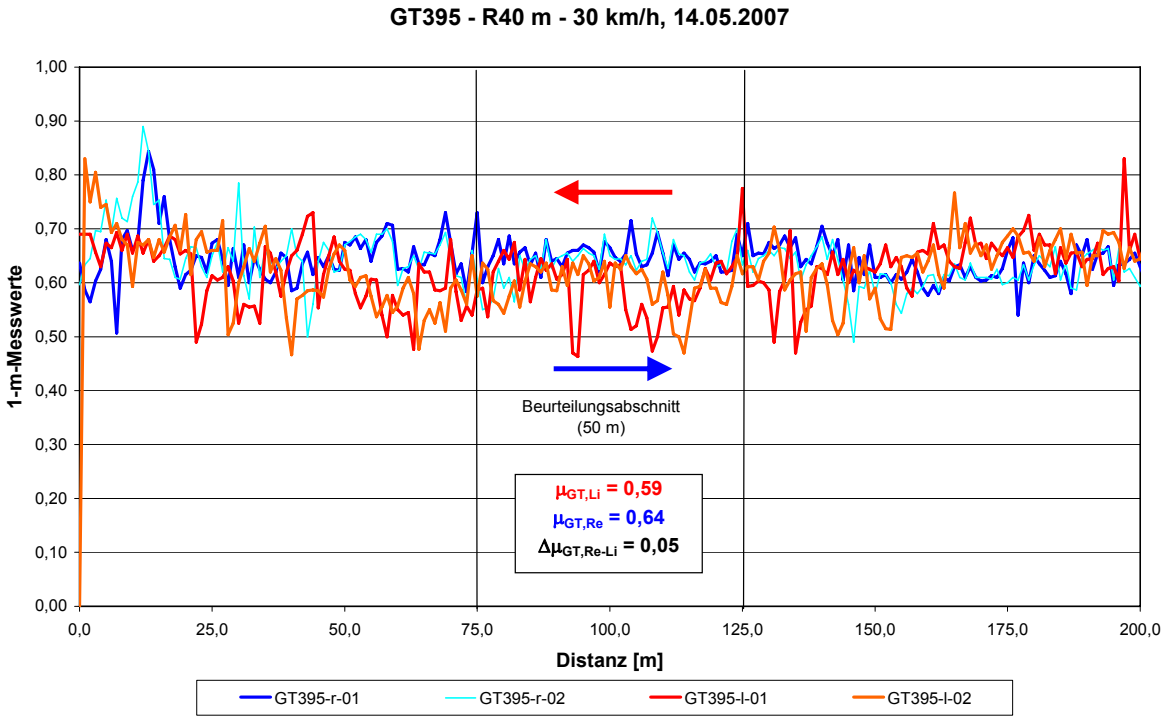


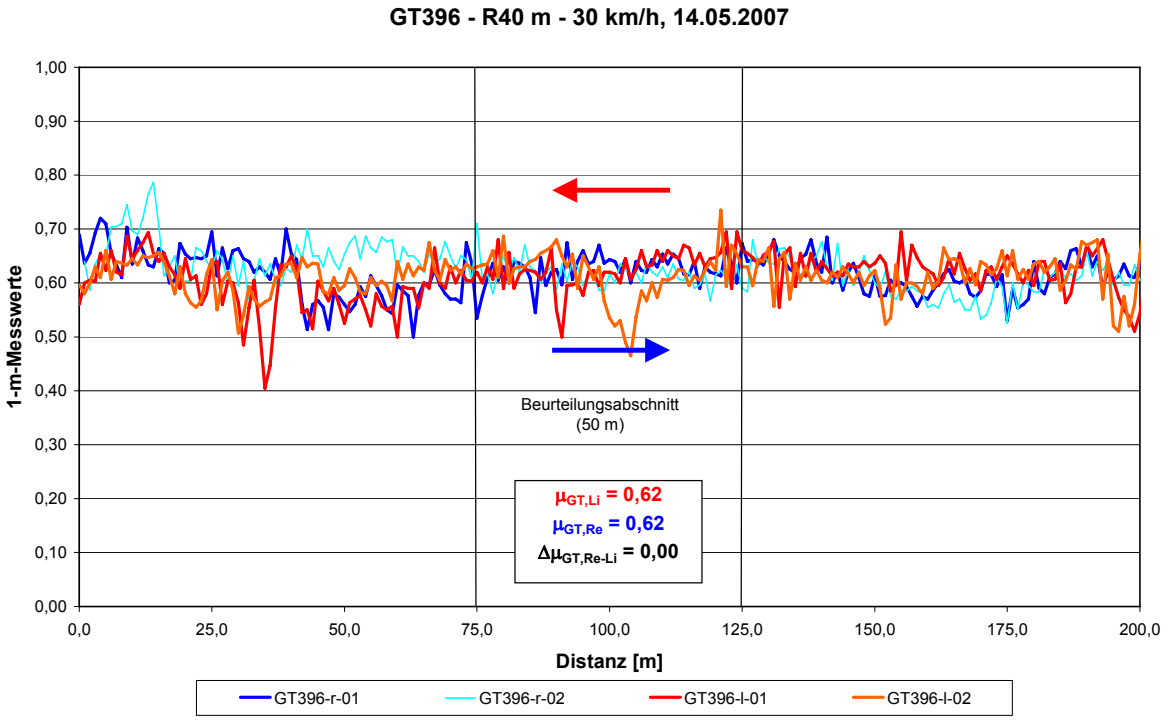



GT135 - R40 m - 30 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,83
μGT,Re = 0,59
ΔμGT,Re-Li = -0,24
GT135-r-01
GT135-r-02
GT135-l-01
GT135-l-02

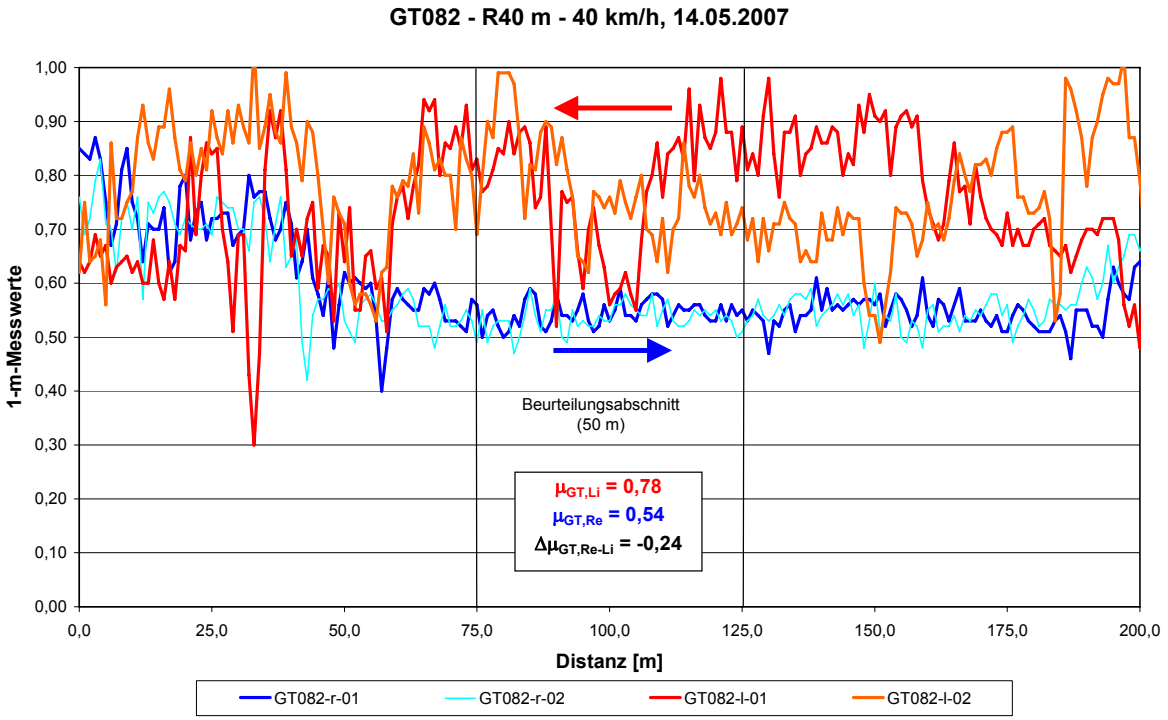

GT213 - R40 m - 30 km/h, 14.05.2007
10-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,89
μGT,Re = 0,60
ΔμGT,Re-Li = -0,29
GT213-r-01
GT213-r-02
GT213-l-01
GT213-l-02

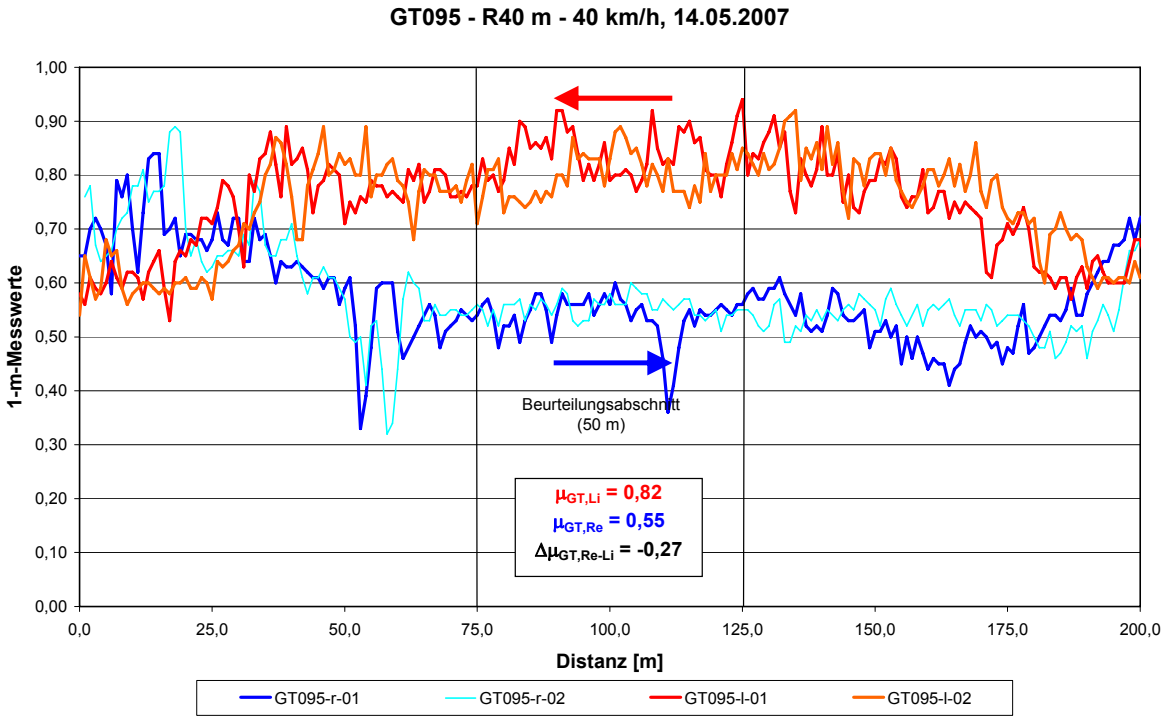

GT389 - R40 m - 30 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,64
μGT,Re = 0,62
ΔμGT,Re-Li = -0,02
GT389-r-01
GT389-r-02
GT389-l-01
GT389-l-02

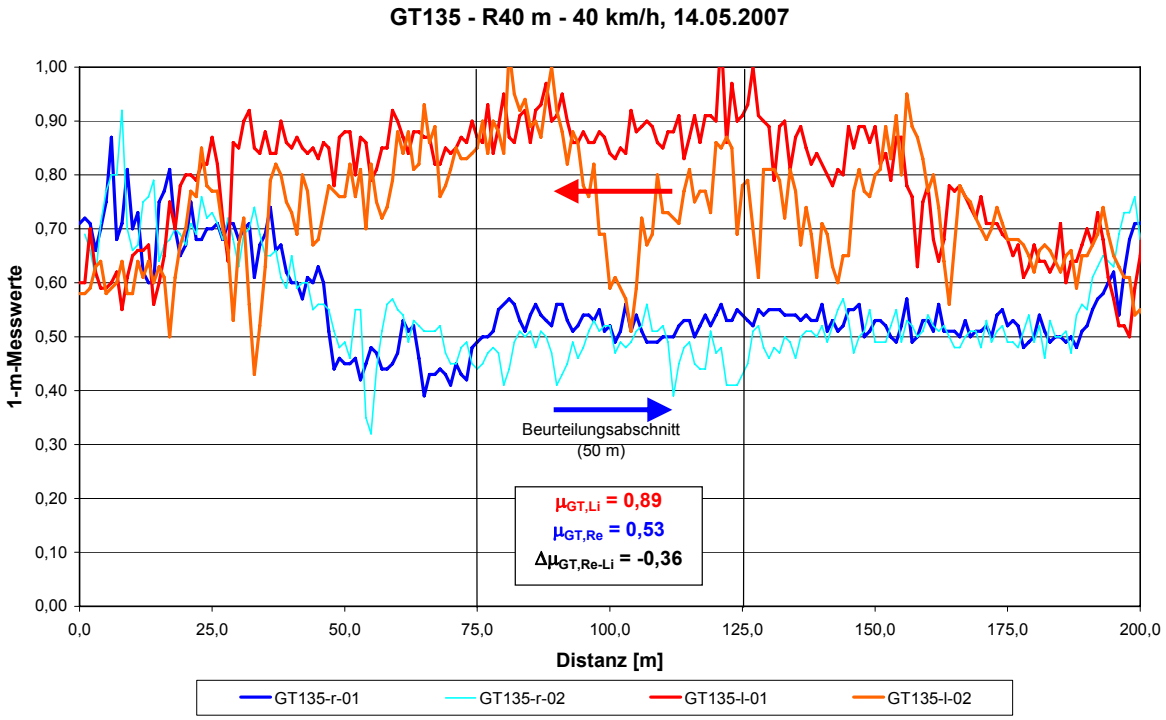

GT395 - R40 m - 30 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,59
μGT,Re = 0,64
ΔμGT,Re-Li = 0,05
GT395-r-01
GT395-r-02
GT395-l-01
GT395-l-02



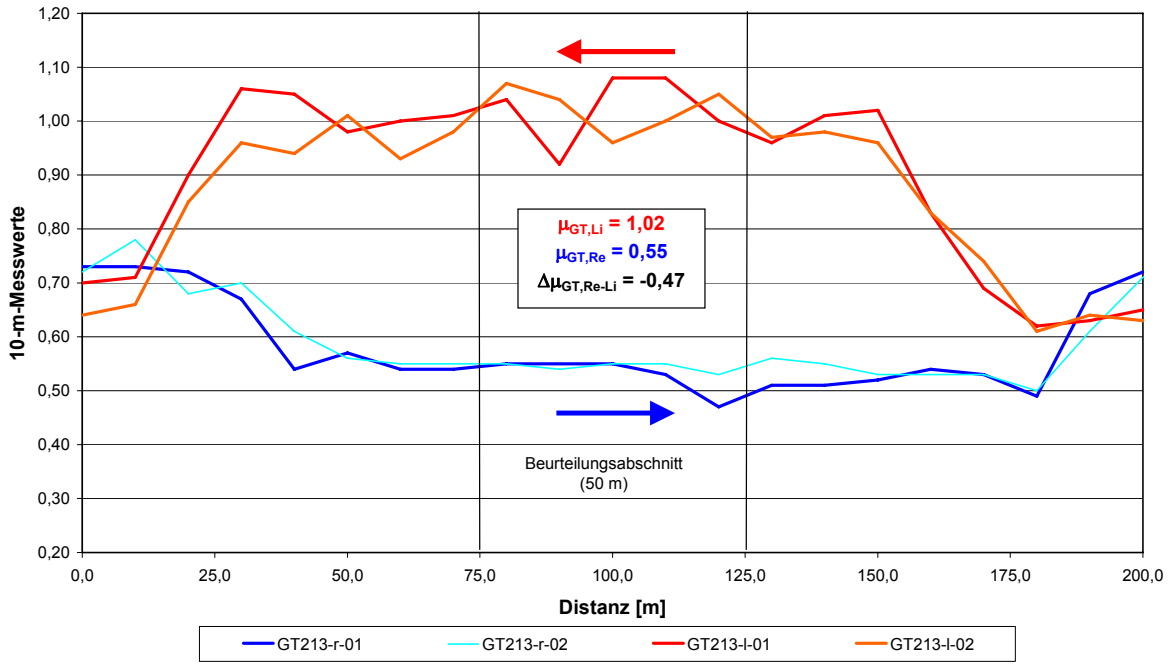
Kurvenradius R = 40 m, Messgeschwindigkeit = 40 km/h



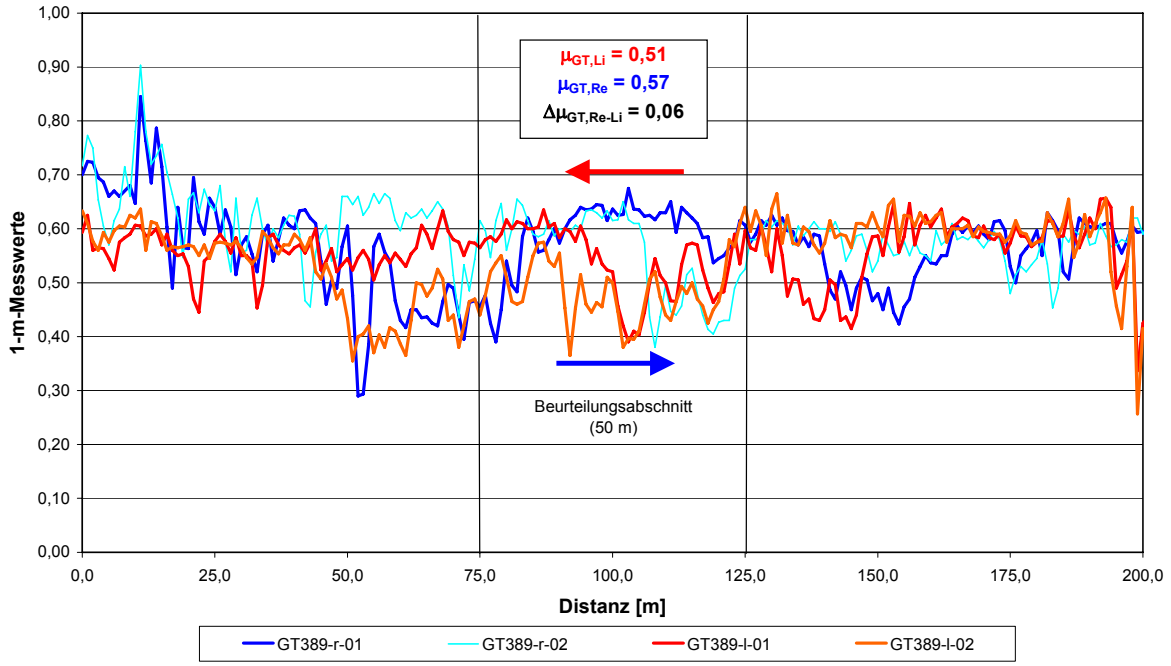

GT095 - R40 m - 40 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,82
μGT,Re = 0,55
ΔμGT,Re-Li = -0,27
GT095-r-01
GT095-r-02
GT095-l-01
GT095-l-02

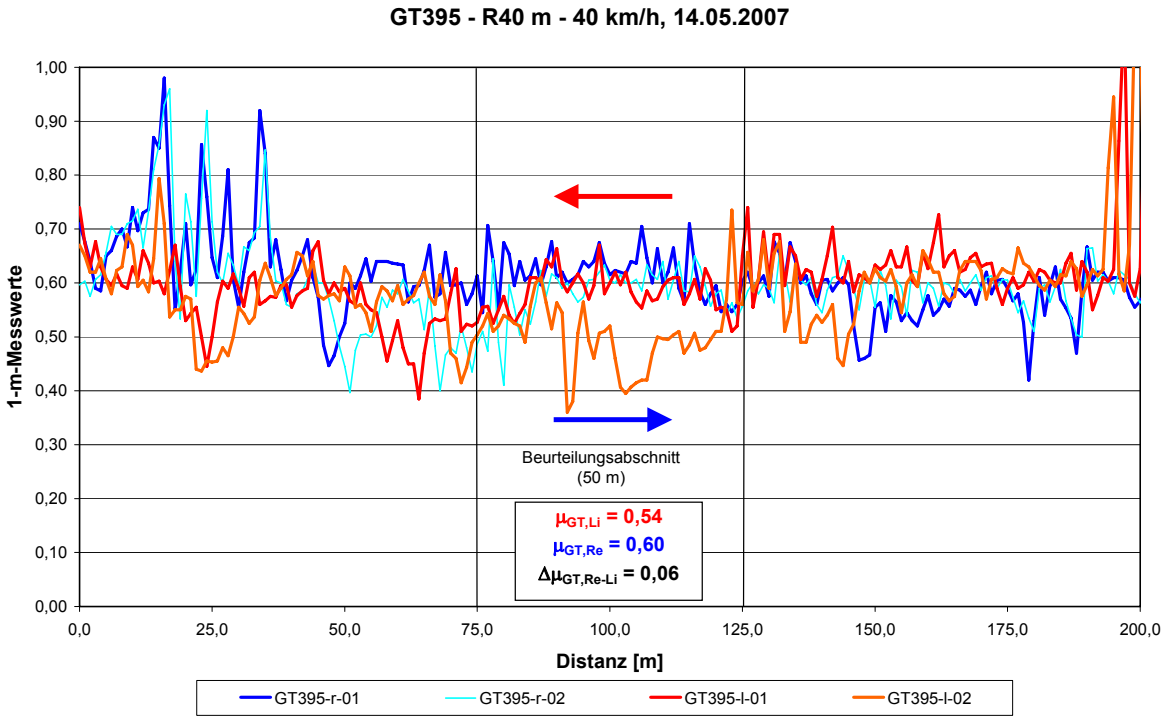

GT135 - R40 m - 40 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,89
μGT,Re = 0,53
ΔμGT,Re-Li = -0,36
GT135-r-01
GT135-r-02
GT135-l-01
GT135-l-02

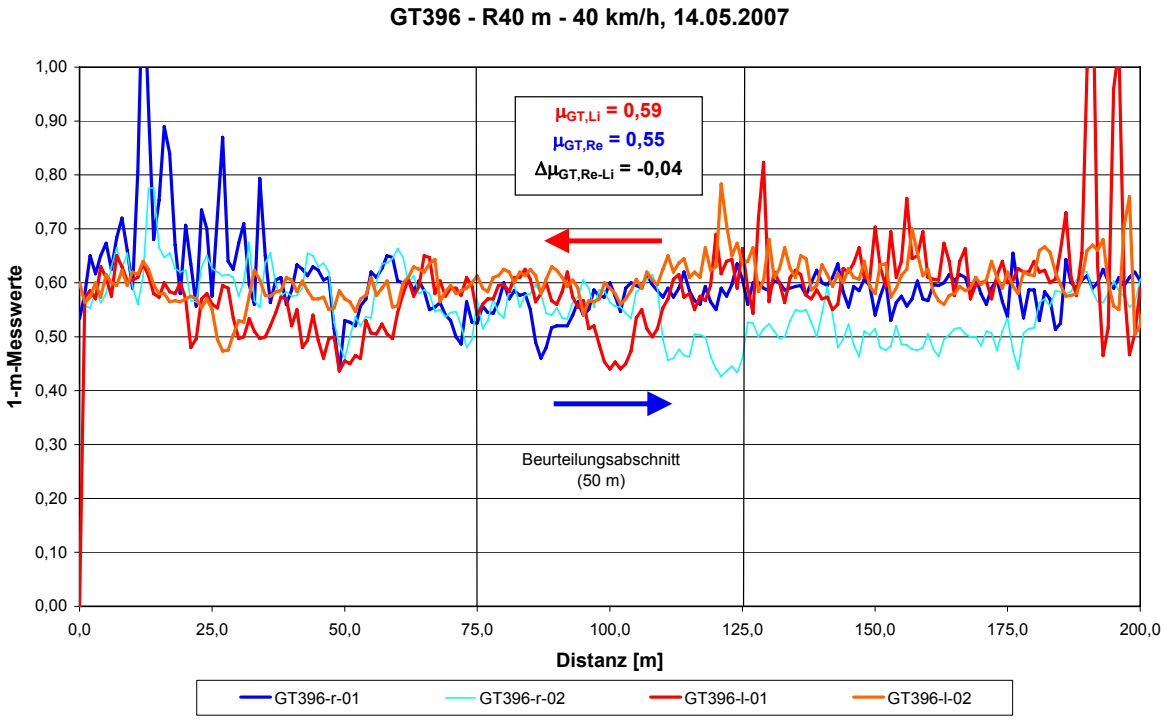
GT213 - R40 m - 40 km/h, 14.05.2007



GT389 - R40 m - 40 km/h, 14.05.2007




GT395 - R40 m - 40 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
μGT,Li = 0,54
μGT,Re = 0,60
ΔμGT,Re-Li = 0,06
GT395-r-01
GT395-r-02
GT395-l-01
GT395-l-02


GT396 - R40 m - 40 km/h, 14.05.2007
1-m-Messwerte
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,0
25,0
50,0
75,0
100,0
125,0
150,0
175,0
200,0
Distanz [m]
μGT,Li = 0,59
μGT,Re = 0,55
ΔμGT,Re-Li = -0,04
Beurteilungsabschnitt
(50 m)
GT396-r-01
GT396-r-02
GT396-l-01
GT396-l-02